

## 外壁給気口からの冷気による温熱不快感の形成機構 の解明とその防除に関する研究

著者	吉野 博
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/41370">http://hdl.handle.net/10097/41370</a>

外壁給気口からの冷氣による温熱不快感の形成機構の解明と

その防除に関する研究

(住宅における各種暖房方式を用いた場合)

(研究課題番号 11450213)

平成 11,12 年度科学研究費補助金(基盤研究(B)(2))

## 研究成果報告書

平成 13 年 3 月

研究代表者

東北大学大学院工学研究科・教授

吉野 博

東北大学図書



00021005058

附属図書館



外壁給気口からの冷氣による温熱不快感の形成機構の解明と

その防除に関する研究

(住宅における各種暖房方式を用いた場合)

(研究課題番号 11450213)

平成 11,12 年度科学研究費補助金(基盤研究(B)(2))

## 研究成果報告書

平成 13 年 3 月

研究代表者

東北大学大学院工学研究科・教授

吉野 博

## 研究成果報告書

「外壁給気口からの冷氣による温熱不快感の形成機構の解明とその防除に関する研究（住宅における各種暖房方式を用いた場合）」を，平成 11，12 年度科学研究費補助金（基盤研究（B）（2））の助成を受けて行った。

本研究では，外壁給気口からの冷氣侵入や温熱不快感などの問題点について，アンケート調査，実測調査により明らかにした。さらに各種給気口機器を用いて，人工気候において実大居室実験や数値計算を行い，温熱不快感がどんな要因と関連するのか，また，その防除方法について検討した。

本冊子は，研究代表者が行ってきた研究成果を示すものである。

### 研究組織

研究代表者：吉野 博（東北大学大学院工学研究科 教授）

研究分担者：内海 康雄（宮城工業高等専門学校建築学科 教授）

松本 真一（秋田県立大学システム科学技術学部 教授）

持田 灯（東北大学大学院工学研究科 助教授）

小林 仁（宮城工業高等専門学校建築学科 講師）

佐藤 洋（東北大学大学院工学研究科 講師）

### 研究経費

平成 11 年度	12, 600, 000
平成 12 年度	2, 500, 000
計	15, 100, 000

## 学会誌などにおける主な研究発表

1. 李振海, 吉野博: 戸建て住宅の換気システム並びに外壁給気口の熱環境に及ぼす影響に関するアンケート調査, 空気調和・衛生工学会論文集, 2000, No. 77, pp. 109~115
2. 李振海, 吉野博, 内海康雄, 小林仁, 阪場行男, 武舎憲功, 岩井信行: 外壁給気口からの冷氣侵入による温熱不快感の形成機構の解明とその防除に関する研究, その1 実験室の概要と室内温度分布の測定, 日本建築学会東北支部研究報告集計画系, 2000. 6, pp. 245~248
3. 李振海, 吉野博, 内海康雄, 小林仁, 阪場行男, 武舎憲功, 岩井信行: 外壁給気口からの外気導入による室内温度分布の形成に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-II, 2000. 9, pp. 109~110

000 .003 .51 更平 11 知平  
000 .002 .5 更平 51 知平  
000 .001 .21 情

# 目次

## 第1章 研究の目的と概要

- 1.1 研究の目的
- 1.2 研究の概要

## 第2章 外壁給気口の熱環境に及ぼす影響に関するアンケート調査

- 2.1 アンケート調査の概要
  - 2.1.1 アンケート調査表
  - 2.1.2 アンケート調査の実施
- 2.2 調査結果
  - 2.2.1 住宅構造と設備
  - 2.2.2 換気風量
  - 2.2.3 換気システムの運転状況
  - 2.2.4 室内環境及び給気口の特性
  - 2.2.5 換気システムの維持管理
  - 2.2.6 居住者から見た住宅室内環境の問題点
- 2.3 冷気流感と関連要因の分析
  - 2.3.1 給気口の吹出し方向と冷気流感の関係
  - 2.3.2 給気口の相対位置と冷気流感の関係
- 2.4 まとめ

## 第2章 参考文献

第3章 外壁給気口からの冷氣侵入に関する実測調査	3-1
3.1 調査の目的	3-1
3.2 実在住宅Aを対象とした測定	3-1
3.2.1 住宅Aの概要	3-1
3.2.2 温度分布測定の概要	3-4
3.2.3 測定結果	3-6
3.2.4 考察	3-6
3.3 実在住宅Bを対象とした測定	3-9
3.3.1 住宅Bの概要	3-9
3.3.2 測定の概要	3-14
3.3.3 温度分布の測定結果	3-15
3.3.4 考察	3-15
3.4 実在住宅Cを対象とした測定	3-18
3.4.1 住宅Cの概要	3-18
3.4.2 測定の概要	3-18
3.4.3 温度分布の測定結果	3-22
3.4.4 考察	3-22
3.5 まとめ	3-24
第4章 外壁給気口機器に関する調査	4-1
4.1 給気口の種類	4-1
4.2 市販されている自然給気口の調査	4-1
4.3 典型的な給気口の性能検討	4-3
4.3.1 手動調整型給気口の特徴	4-3



4.3.2	風圧による通気量調整型給気口の特性	4-7
4.3.3	外気温による通気量調整型給気口の特性	4-9
4.3.4	室内湿度による通気量調整型給気口の特性	4-13
4.4	まとめ	4-15
第5章	外壁給気口からの冷気侵入による温度分布の形成機構に関する実験	5-1
5.1	実験室の概要	5-1
5.1.1	人工気候室の概要と設備	5-1
5.1.2	実大居室の概要と設備	5-1
5.1.3	暖房用温水供給装置	5-4
5.2	実験の概要	5-4
5.2.1	給気口	5-4
5.2.2	測定項目と測定点	5-4
5.2.3	実験の条件と実験ケース	5-4
5.2.4	測定方法	5-6
5.3	測定結果	5-8
5.3.1	温度分布の測定結果	5-8
5.3.2	熱画像による冷気侵入の測定結果	5-8
5.4	温度分布の評価指標	5-13
5.5	実験結果の分析	5-13
5.5.1	給気口の吹き出し方向の影響	5-13
5.5.2	給気口の設置位置の影響	5-14
5.5.3	放熱パネルの設置位置の影響	5-14
5.5.4	吹き出し風速と上下温度差	5-14

5.5.4	暖房供給熱量 $H_c$ と上下温度差	5-16
5.6	まとめ	5-18
第5章	参考文献	5-19
第5章	附録	5-19

第6章 外壁給気口の室内温度・気流分布並びに換気効率に及ぼす影響に関する CFD による検討

6.1	CFD 解析の概要	6-1
6.1.1	基礎方程式	6-1
6.1.2	解析対象空間	6-1
6.1.3	給気口のモデル化	6-3
6.1.4	計算ケース	6-3
6.1.5	メッシュ分割	6-4
6.1.6	境界条件	6-5
6.2	実験結果との比較	6-6
6.3	給気口の吹出し方向による室内温度・気流分布への影響の検討	6-7
6.4	換気効率指標を用いて室内換気性状の検討	6-11
6.5	まとめ	6-12
第6章	参考文献	6-13

第7章	まとめ	7-1
-----	-----	-----

謝辞

## 第1章 研究の目的と概要

### 1.1 研究の目的

近年、住宅の気密性能はますます向上していく傾向にある。気密な住宅においては、機械換気を用いて空気環境を清浄に維持していくことが必要不可欠である。住宅の機械換気システムとしては第3種換気方式が一般的となってきたが、この方式の場合、暖房時においては冷たい外気が外壁に設けた給気口から室内に直接導入されるため、温熱的な不快感が形成される可能性が高く、これが解決されない場合には、居住者によって給気口が塞がれてしまって、十分な換気がおこなわれない恐れが生じる。写真 1-1、写真 1-2 は温熱的な不快感が形成される2つの例である。

不快感の形成は、給気口の位置、給気の吹き出し方向、給気量、室内外温度差、窓からのドラフトとの関係、暖房方式、室内の家具の位置との関係など、様々な因子と関わっており、極めて複雑である。従って、これらの因子との関係を明らかにすることが、不快感を生じない最適な給気方式を設計していく上で必要であるが、十分な資料が整備されていないのが現状である。

そこで、本研究では現在使用されている各種の給気口の実状を踏まえた上で、不快感の形成がどのような因子と関連するのかについて、現場実測、人工気候室における実験、数値計算にもとづいて明らかにし、不快感が生じないための、給気方式、暖房方式などに関する設計資料を整備することを目的とした。

### 1.2 研究の概要

本論文の第2章、第3章では、アンケート調査と実住宅における現場実測により、外壁給気口からの冷氣侵入の実態や換気に関する問題点などについて明らかにした。第4章では、現在使用されている各種の給気口を調査分類し、典型的な給気口に対して検定用小型風洞を用いて通気性能を調べ、その特性を把握した。

第5章では人工気候室において、実大居室実験を行い、不快感の形成がどのような因子と関連するのかについて検討した。さらに、第6章では標準  $k-\varepsilon$  モデルを用

いて実験で用いる居室模型を対象とし、シミュレーションを行い、実験データと照合して妥当性を検討した。次に換気効率と温熱快適性の観点から給気口の吹き出し方向の検討を行った。

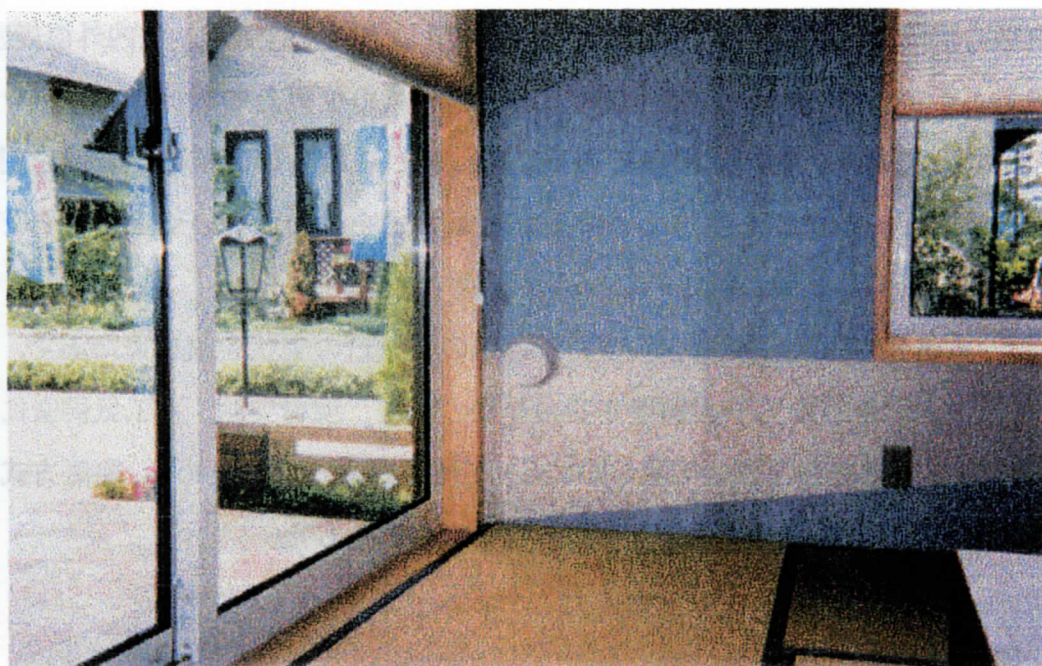


写真 1-1 冷気が侵入して床付近に溜まる





写真 1-2 冷気がベッドの上に流入



## 第2章 外壁給気口の熱環境に及ぼす影響に関するアンケート調査

第3種換気方式を備えた住宅では通常、外壁に給気口が設けられ、暖房時においてはそこから冷たい外気が室内に直接導入されるため、温熱快適性を損なう可能性が高く、場合によっては、居住者により給気口がふさがれてしまい、十分な換気が行われない恐れが生じる。また、給気口からの騒音の侵入や換気口の汚れなどの問題があるものと推察される。しかし、実態は明らかでない。

本章では、主として以上の点を明らかにすることを目的とし、86戸の住宅を対象としたアンケート調査を実施したので、その結果を報告する。

### 2.1 アンケート調査の概要

#### 2.1.1 アンケート調査票

アンケート調査票は工務店などが記入する部分と居住者が記入する部分から成る。工務店などの記入部分は住宅の属性や設備などについての項目があり、居住者の記入部分は設備の運転状況、室内環境や気になる問題点などに関する項目が含まれている。表2-1に主な質問内容を示す。

アンケートの主な質問内容の概要とその根拠を以下にまとめる。

まず、住宅の属性と設備は基本事項であり、住宅の構造、窓ガラス、換気設備、暖房設備などについての項目を設けた。

次に、本調査の主な着目点は給気の温熱環境への影響であるので、冬期の換気システムの運転モード、給気口の調整などの状況、暖房の設定温度に関する項目を設けた。

室内環境に関しては、主に冷気流感、騒音の侵入、空気の汚れ感等の項目を設けた。更に居住者に住宅の換気、室内環境等に関する問題点について自由記述欄を設けた。

#### 2.1.2 アンケート調査の実施

調査は1998年3月～6月に実施した。調査地域は主に東北地方、北海道であり、関東地方も加えた。調査対象は最近2～5年の間に建設され機械換気設備を備えた

表 2-1 アンケートによる調査内容

回答者	項目	主な質問内容
工務店など	A. 住宅属性	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 延べ床面積</li><li>・ 構造</li><li>・ 完成・入居時期</li><li>・ 窓ガラス</li></ul>
	B. 住宅の設備	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 換気設備 種類, 設置位置, 風量など</li><li>・ 暖房設備 種類, 設置場所など</li></ul>
居住者	C. 設備の運転状況	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 換気扇の使用状況</li><li>・ 給気口の開口状況</li><li>・ 暖房の設定温度など)</li></ul>
	D. 室内環境	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 冷気流の感じ方</li><li>・ 給気口の遮音性能</li><li>・ 空気の汚れ／対処方法</li></ul>
	E. 気になる問題点	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 寒さ</li><li>・ 空気の汚れ</li><li>・ 騒音等について</li></ul>

表 2-2 アンケート調査票の回収状況

配布地域	配布	回収	回収率%
北海道	46	30	65
東北地方	62	43	69
関東地方	15	13	87
合計	123	86	70

住宅とし、ハウスメーカー、工務店などに配布を依頼 \*した。表-2 に調査票の回収状況を示す。

## 2.2 調査結果

### 2.2.1 住宅構造と設備

#### (1) 住宅構造

図-1 に住宅構造の割合について示す。東北地方は木造在来工法の住宅の割合が多い。北海道は木造在来、枠組壁工法の割合は大差なく、両方で8割を占める。関東地方はサンプル数が少ないが、枠組壁工法の割合は多い。

#### (2) 窓ガラス

窓ガラスの構成を図 2-2 に示す。東北地方、北海道は「2 枚ガラス(複層ガラスも含む)」の割合が圧倒的に多い。又、北海道は「2 枚複層ガラス+Low-E」、東北地方は「3 枚ガラス(複層ガラス+1 枚ガラスも含む)」がよく使われている。関東地方のサンプルは全部「2 枚ガラス(複層ガラスも含む)」である。

#### (3) 暖房設備

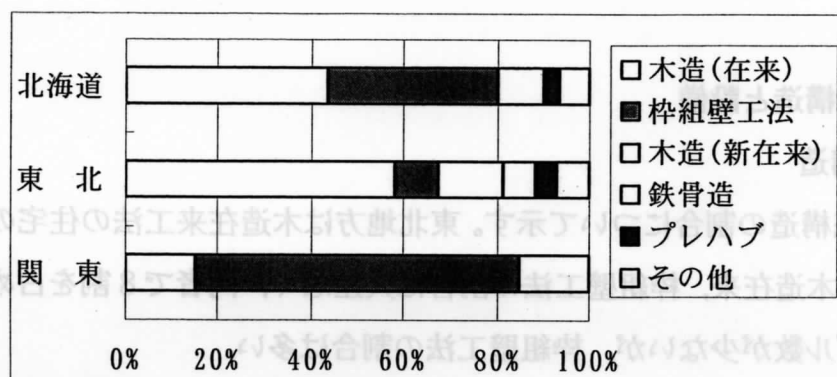
住宅の暖房設備について図 2-3 に示す。東北地方、北海道では石油セントラルヒーティング(パネル放熱器)の割合が多いのに対して、関東地方では石油セントラルヒーティング(パネル放熱器)、ヒートポンプ式マルチタイプエアコン、各室ごとのエアコンなど各種の暖房システムが使用されている。「その他」の内訳では、東北地方では蓄熱式電気暖房器、FFストーブが多い。

#### (4) 機械換気設備

図 2-4 に機械換気設備の種類について示す。第 3 種換気が一般的となっていると言われるが、今回対象とした住宅のなかでは同様の傾向である。特に東北地方では第 3 種換気が調査対象の約 8 割を占めている。北海道でも約半分の住宅は第 3 種換気方式を使用している。

\* 東北地方は「住まいと環境・東北フォーラム」の工務店、設計事務所、ハウスメーカーなどの会員を通して居住者に配布された。

図の調査結果は、北海道、東北、関東の3地域を対象とした。調査結果は、住宅の構造、窓ガラスの種類、断熱気密工法の採用状況を示している。



注 新在来は断熱気密工法を改良した在来工法である。

図 2-1 住宅の構造

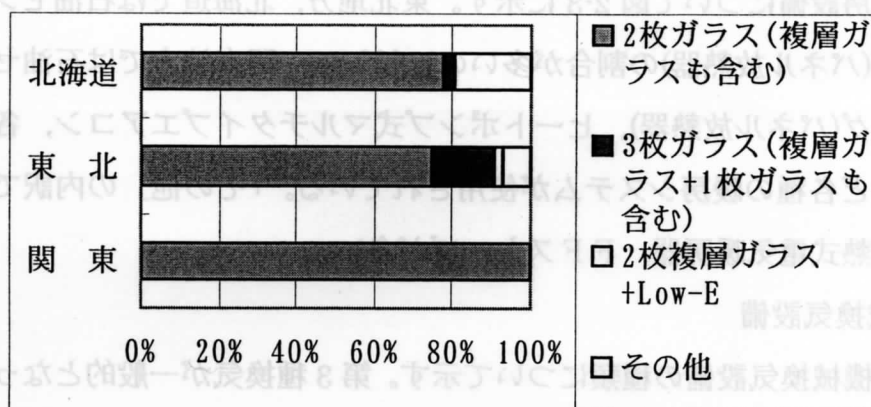


図 2-2 住宅の窓ガラス

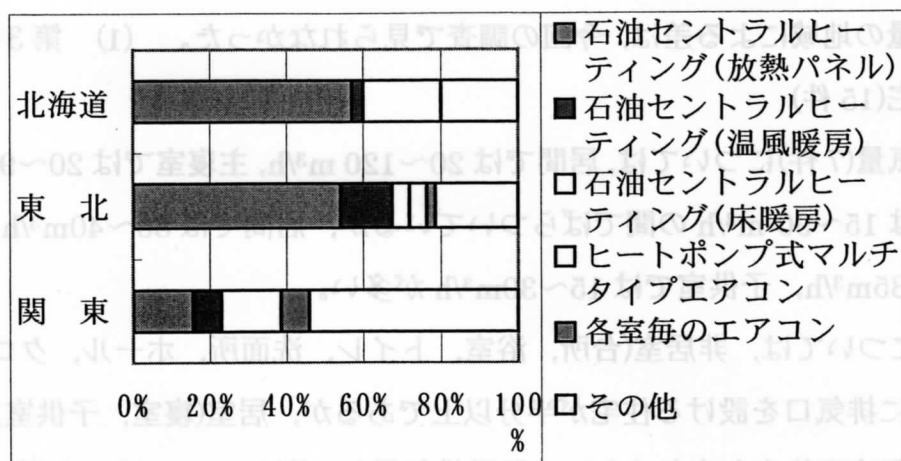


図 2-3 住宅の暖房設備

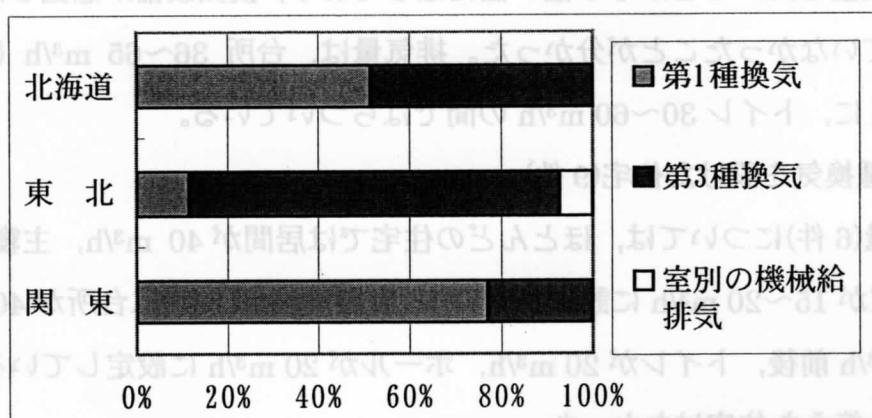


図 2-4 住宅の換気設備



### 2.2.2 換気風量

工務店、ハウスメーカーなどに対して、換気システムの設計風量あるいは実測風量などについて回答を求めたが、分析に有効な回答は29%であった。

換気風量の地域による差は、今回の調査で見られなかった。(1) 第3種換気を設けた住宅(15件)

設計給気量(7件)については、居間では20~120 m<sup>3</sup>/h、主寝室では20~90 m<sup>3</sup>/h、子供室では15~90 m<sup>3</sup>/hの間でばらついているが、居間では30~40 m<sup>3</sup>/h、主寝室では20~35 m<sup>3</sup>/h、子供室では15~30 m<sup>3</sup>/hが多い。

排気量については、非居室(台所、浴室、トイレ、洗面所、ホール、クロゼット、押入など)に排気口を設ける住宅が半分以上であるが、居室(寝室、子供室、書斎など)から排気する住宅も少なくない。設計排気量(10件)については、台所では30~40 m<sup>3</sup>/h、浴室では30~90 m<sup>3</sup>/h、トイレでは20~60 m<sup>3</sup>/hの間でばらついているが、台所では30~40 m<sup>3</sup>/h、浴室では40 m<sup>3</sup>/h前後、トイレでは20~30 m<sup>3</sup>/hが多い。

5件で風量を実測しているが、その結果によれば、給気量は居間では10~33 m<sup>3</sup>/h、主寝室では10~24 m<sup>3</sup>/h、子供室では8~23 m<sup>3</sup>/hの間でばらついている。上に示した設計給気量と比べるとかなり低い値になっており、換気設備が意図した通りに十分機能していなかったことが分かった。排気量は、台所 36~65 m<sup>3</sup>/h に、浴室 32~90 m<sup>3</sup>/h に、トイレ 30~60 m<sup>3</sup>/h の間でばらついている。

#### (2) 第1種換気を設けた住宅(9件)

設計給気量(6件)については、ほとんどの住宅では居間が40 m<sup>3</sup>/h、主寝室が20 m<sup>3</sup>/h、子供室が15~20 m<sup>3</sup>/hに設定している。設計排気量(7件)は台所が40 m<sup>3</sup>/h、浴室が40 m<sup>3</sup>/h前後、トイレが20 m<sup>3</sup>/h、ホールが20 m<sup>3</sup>/hに設定している。

実測風量を答えた住宅はなかった。

以上の結果を、次世代省エネルギー基準(建設省告示第998号「住宅に係るエネルギーの使用の合理化に関する設計及び施工の指針」,平成11年3月30日)の換気量の推奨値\*(表-I)と比べると、室別給気量についてはやや大きな値になっている。また、同指針と関連して示された局所換気量の目安\*(表-II)と比べると、設計排気量はやや大きな住宅や小さな住宅が見られ、ばらつきが大きい。

2.2.3 換気システムの運転状況

(1) 運転状況

換気扇の運転状況を図 2-5 に示す。ほとんどの住宅は 1 日中運転しているが、運転したり停止したりする住宅は 6 件あった。停止する理由は「運転騒音がうるさい」、  
「電気代を節約するため」などである。また、「運転すると寒い」という理由で換気扇を使わない住宅も 1 件あった。

(2) 換気扇の運転モード

8 割以上の換気扇が強・中・弱の運転モードを持ち、普段の運転モードの設定状況は図 2-6 に示す通りであり、全体では強・中・弱の割合はそれぞれ約 2, 2.5, 5.5 割である。

モード設定の理由は図 2-7 に示すように、「適当だと思うから」が最も多い。

(3) 給気口の調整可能性

図 2-8 に給気口の調整可能性について示す。約 40% の給気口は開閉しかできない。常に開で閉鎖できない給気口は約 23% を占めている。

また、普段の開閉状態について、ほとんどの住宅では開となっているが、常に閉としている住宅も 2 件みられた。

\* 1999 年 3 月に施行された「住宅に係るエネルギーの使用の合理化に関する設計及び施工の指針」に示された換気量の推奨値は表-I に示した通りである<sup>3)</sup>。又、同指針と関連して示された局所換気量の目安は表-II に示されている<sup>3)</sup>。

表-I 室ごとの新鮮空気供給量の目安

室 名	新鮮空気供給量
居間及び食事室	合計 50m <sup>3</sup> /時
寝室	20m <sup>3</sup> /人・時
その他の居室	20m <sup>3</sup> /時

表-II ダーティーゾーンにおける局所換気量の目安

室 名	換気量	備考
台所 ガス熱源 (フード付き)	30KQ又は300m <sup>3</sup> /hの大なる方 (K:理論廃ガス量,Q:燃料消費量)	機械換気設備は必須
台所(電気)	300m <sup>3</sup> /h	
浴室	100m <sup>3</sup> /h	機械換気設備は必須
洗面所	60m <sup>3</sup> /h	
便 所	40m <sup>3</sup> /h	
洗濯所	60m <sup>3</sup> /h	

図 2-5 換気扇の運転状況

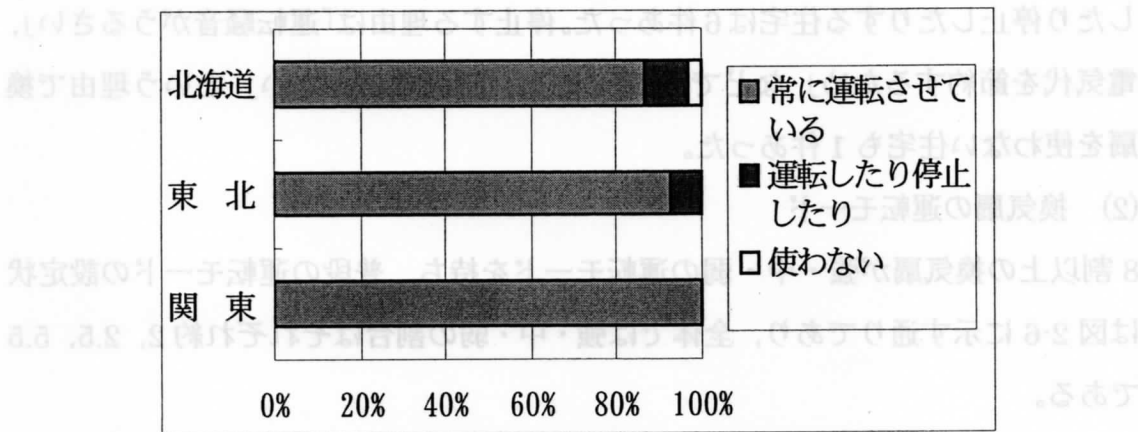


図 2-5 換気扇の運転状況

図 2-6 換気扇の普段の運転モード

図 2-6 換気扇の普段の運転モード

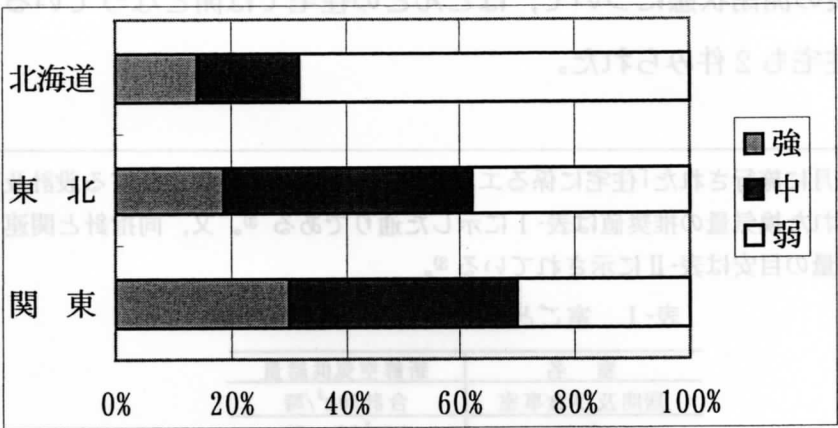


図 2-6 換気扇の普段の運転モード

地域	換気扇	モード
北海道	換気扇	強
北海道	換気扇	中
北海道	換気扇	弱
東北	換気扇	強
東北	換気扇	中
東北	換気扇	弱
関東	換気扇	強
関東	換気扇	中
関東	換気扇	弱

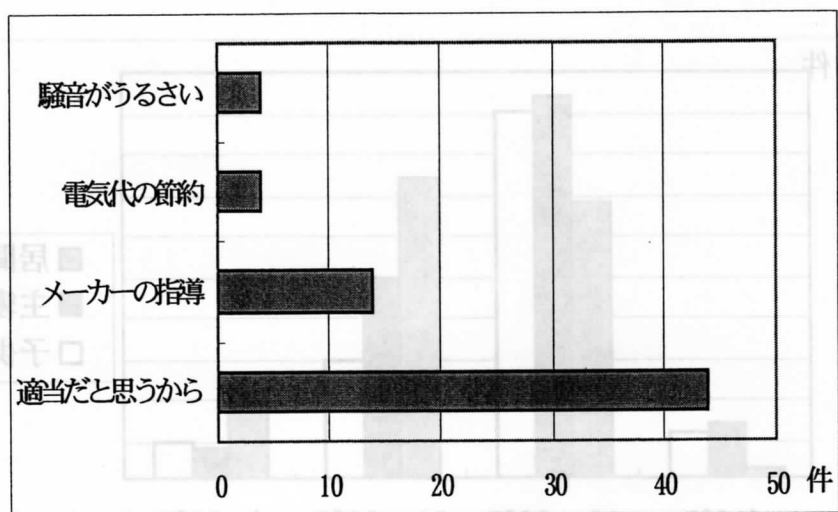


図 2-7 換気運転モードの設定理由(多数回答可)

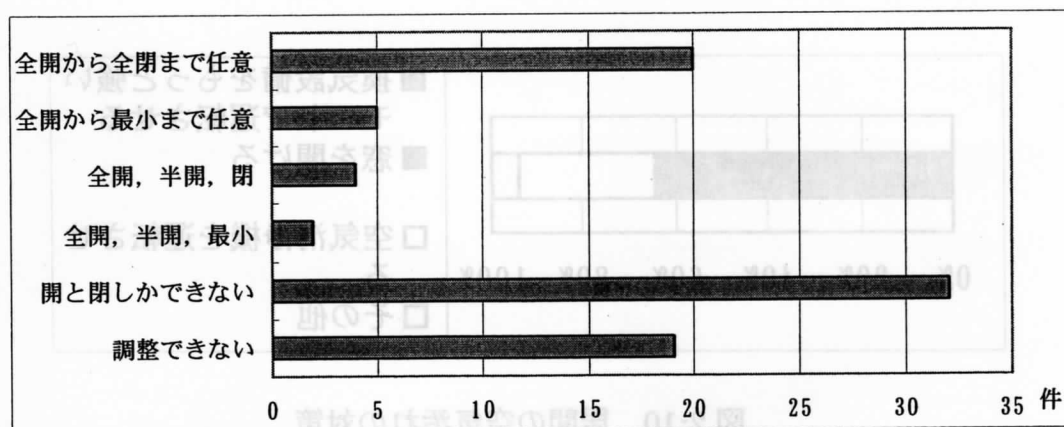


図 2-8 給気口気の調整可能性

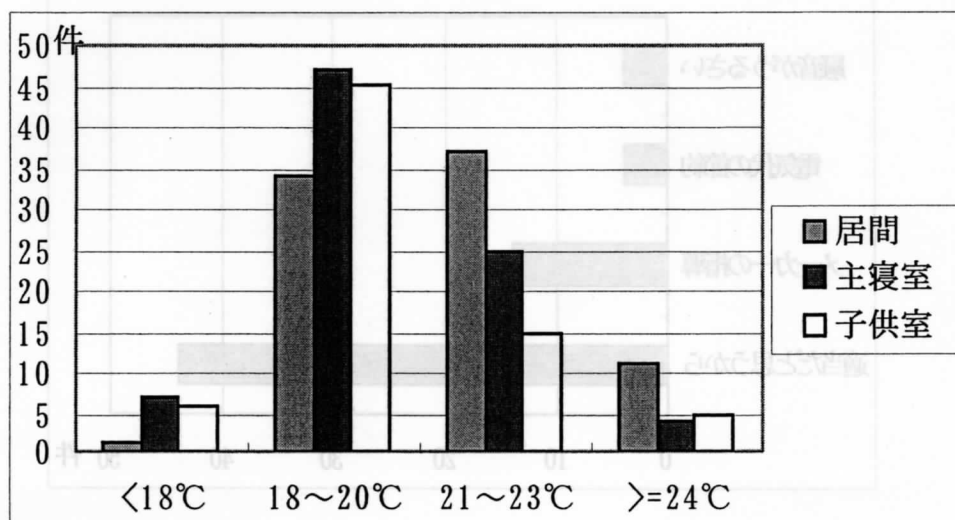


図 2-9 暖房設定温度

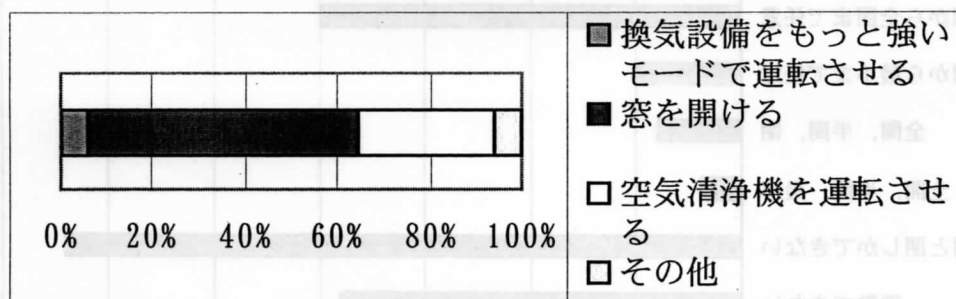


図 2-10 居間の空気汚れの対策



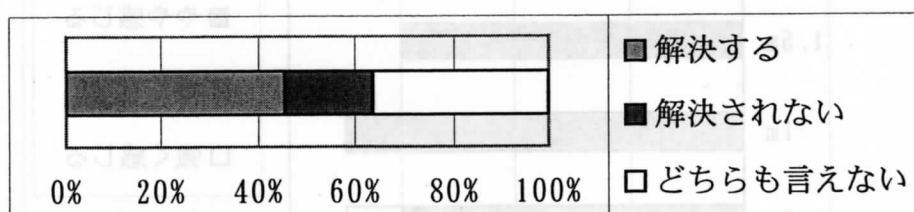


図 2-11 空気汚れに対する換気設備の有効性

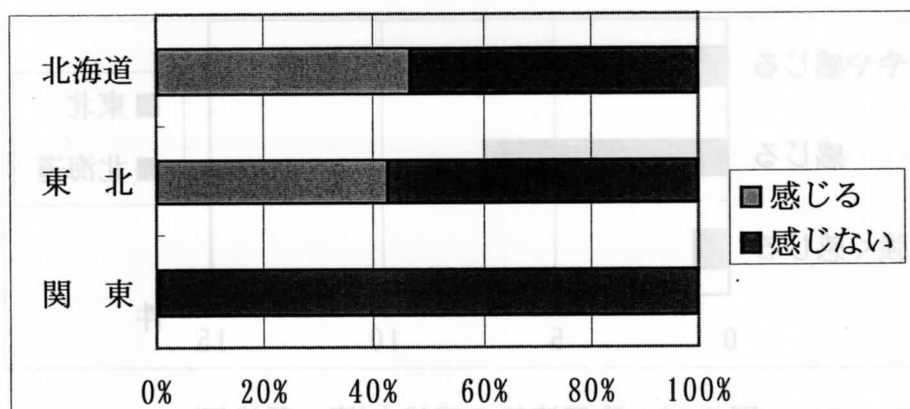


図 2-12 冷気流の有無(第 3 種換気)

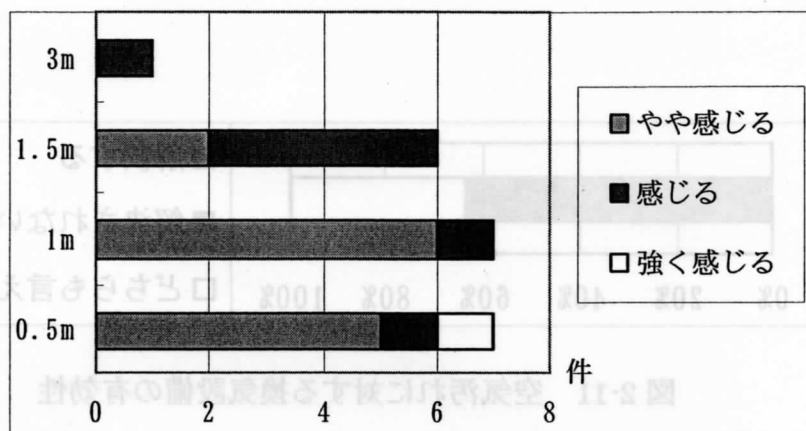


図 2-14 冷気流気の感じる位置(第3種換気)

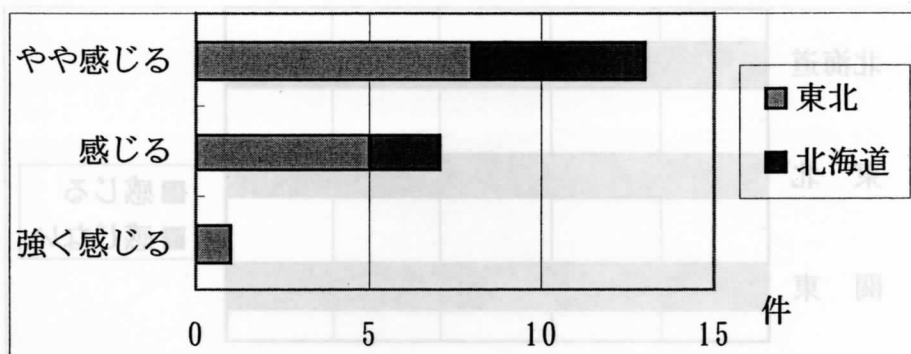


図 2-13 冷気流気の感じ方(第3種換気)

#### 2.2.4 室内環境および給気口の特性

##### (1) 暖房の設定温度

図 2-9 に示すように暖房の設定温度は 15℃～26℃の間にばらついている。寝室と子供室のピークは 18℃～20℃の間にあり、居間は少し高く、22℃前後にある。

##### (2) 空気の汚れ感および居住者による対策

冬期の団らん時において居間で空気の汚れを感じるか否かの質問に対して、感じていると答えた住宅は 23%であった。居住者による対策は、図 2-10 に示す通り、窓を開けて換気する方法が最も多く約 60%である。また、空気の汚れを感じた時、換気設備を運転することで解決されるかという質問に対して、「解決する」と答えた住宅は図 2-11 に示す通り、半分以上の 45%である。

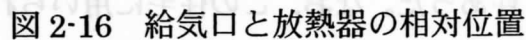
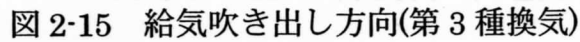
##### (3) 冷気の侵入

冷気の侵入に関して、第 1 種換気、室別の機械給排気を行う住宅では、熱交換器を用いているため、冷たい気流を感じることは少なかったが(7 件)、第 3 種換気の場合には、図 2-12 に示すように地域別にみれば、関東地方は冷気流を感じる住宅はなかったが、北海道、東北地方は半数近く指摘があり、北海道の方がやや多かった。

##### (4) 冷気流の感じ方

冷気流の感じる度合と感じる位置について図 2-13, 図 2-14 に示す。「やや感じる」場合が最も多いが、「感じる」と「強く感じる」も全体の約 4 割弱を占めている。

感じる位置は 0.5m～3m の間にばらついているが、1.5m 以内の位置に感じる住宅が多い。当然のことながら給気口に近付く程、感じ方が強くなる。3m 離れたところでも感じる住宅は 1 件あった。なお、この住宅に用いられていた給気口の吹き出し方向は水平であった。



#### (5) 給気口の吹き出し方向・放熱器との相対位置

冷気流を感じる住宅に設置されている給気口の吹き出し方向、放熱器と給気口の相対位置について図 2-15、図 2-16 に示す。壁面と平行あるいは壁面と一定の角度で放射状に吹き出す給気口が半数ずつであるが、水平吹き出しも 1 割みられた。給気口の設置位置については半分以上は放熱器と離れたところである。アンケート調査の結果を詳しくみると、壁面と平行に吹き出しているにもかかわらず冷気を感じる、また、放熱器の上部に給気口があっても冷気を感じている住宅があった。

#### (6) 給気口の開閉

第 3 種換気を設置している住宅において、約 3 割弱の住宅で給気口を閉じることがあると答えている。その理由を図 2-17 に示す。冷気侵入のためという理由が最も多く 6 割以上も占めている。その他の内訳は“寝る時”や“読書等で動かない時”などを含んでいる。

#### (7) 給気口の遮音性

外壁に設けられた給気口からは、騒音侵入が懸念されるが、今回の調査結果では、騒音侵入について気になる住宅は 1 割以下であった。

### 2.2.5 換気システムの維持管理

#### (1) 給気口の汚れ

給気口の汚れ状況については図 2-18 に示した通り、給気口がほこりで詰まったことがあるか否かについて、「ない」と答えた住宅は 76%で、「ある」と「わからない」という回答はそれぞれ 14%、10%であった。

#### (2) 換気扇、給排気口、ダクトなどの清掃

「掃除したことがある」と答えた住宅は 6 割以上あるが、清掃しているのは給排気口だけであり、換気扇、ダクトを清掃した住宅はなかった。

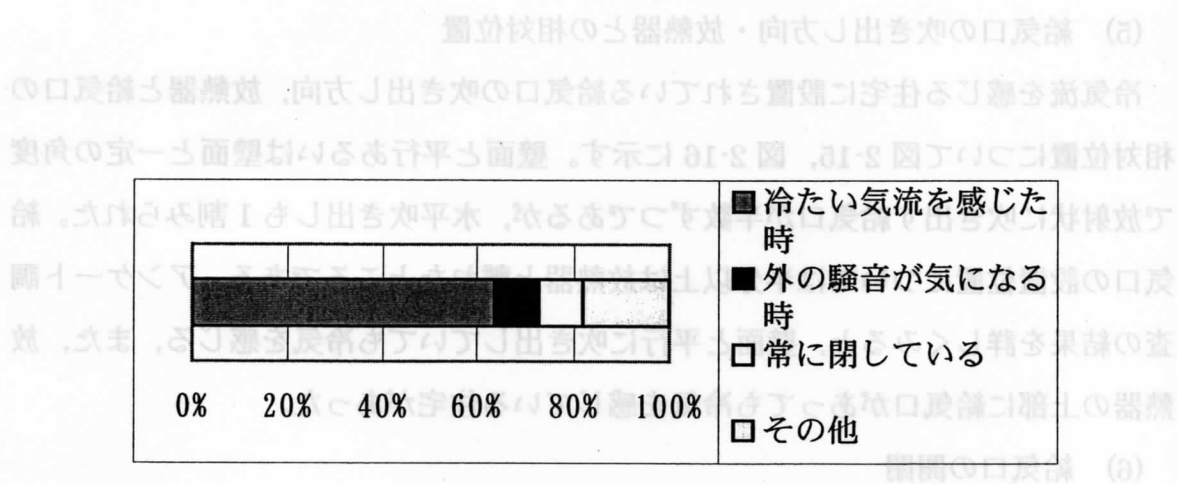


図 2-17 給気口を閉じる理由(11 件)

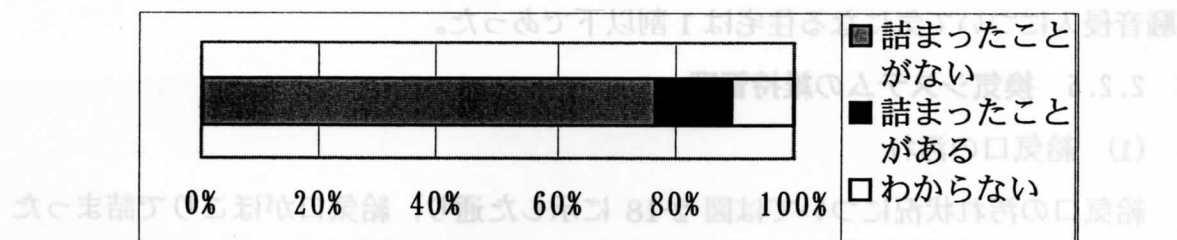


図 2-18 給気口の汚れ状況(68 件)

### 2.2.6 居住者から見た住宅室内環境の問題点

室内の熱空気環境に関する問題点について、自由回答欄を設け、居住者の意見を収集した。主な問題点は以下の通りである。

#### (1) 換気量のバランス

1階と2階の換気量のバランスが取れていなく、1階の室は冷気流が感じやすく不快を訴えた住宅は3件あった。また、3件の住宅から、長時間換気すると寒くなるとの指摘があった。

#### (2) 結露

窓や窓下の壁面、ドア、給気口での結露が3件の住宅で指摘された。3戸ともセントラル暖房で、窓ガラスが複層である。

#### (3) 階段室のコールドドラフト

暖房の不十分な階段室で形成されたコールドドラフトによる不快感を訴えた住宅が3件あった。

#### (4) 騒音

換気扇、熱交換器などの騒音問題を指摘した住宅は11件あった。室内の音漏れ問題も2件の住宅で指摘された。

#### (5) 乾燥

湿度が低く乾燥するという問題を指摘した住宅は5件あった。

#### (6) その他

その他の問題点として、足元が寒い、窓のコールドドラフト、ダクト内のカビ発生、換気扇の効果が無い、換気設備の使用説明が欲しい、メンテナンスへの不安などの回答があった。

## 2.3 冷気流感と関連要因の分析

冷気流感は給気口の形状、給気口からの距離などのいろいろな要因と関連する。ここで、表2-3に示すように給気口からの距離と冷気流感を数値化し、冷気流感と給気口の相対位置、吹出しの方向との関連性を分析する。なお、対象は第3種換気方式の住宅である。

表 2-3 冷気流感の数値化

給気口からの距離	やや感じる	感じる	強く感じる
0.5m	0.5	1	2
1m	1	2	3
1.5m	2	3	3.5
3m	3	3.5	

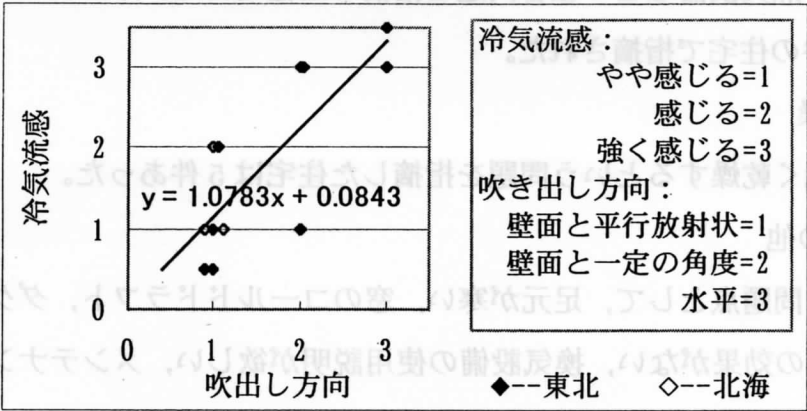


図 2-19 給気口の吹出し方向と冷気流感の関係



### 2.3.1 給気口の吹出し方向と冷気流感の関係

調査対象住宅に使われた自然給気口の吹出し方向を3種類(①壁面と平行で放射状吹出し, ②壁面と一定の角度で放射状吹出し, ③水平吹出し)にまとめ, 調査結果に基づき吹出し方向と冷気流感との関連を図2-19に示す。全体的な傾向として, 水平吹出しは冷気流感が強く, 壁面と平行放射状吹出しは冷気流が感じにくい。吹出し方向が冷気流感に強い影響をもたらしている。

### 2.3.2 給気口の相対位置と冷気流感の関係

給気口と放熱器の相対位置を①放熱器の上部, ②放熱器近傍の上部, ③放熱器と離れたところ, の3種類に分類する。放熱器の上部に給気口を設けた場合には, 冷気流が感じにくいと考えられる。しかし, 図2-20に示すように今回の調査結果は両者の関連性は見られず, 他の要因が影響をしているものと推察できる。

#### まとめ

今回の調査より得られた知見を以下にまとめる。

1) 第3種換気の場合, 冷たい外気が室内に直接導入されるため, 東北地方, 北海道では約半分の住宅で冷気流を感じていることが明らかとなった。約3割弱の住宅で給気口を閉じることがあると答えている, 冷気侵入のためという理由が最も多く6割以上も占めている。壁面と平行に吹き出していても冷気を感じる, また, 放熱器の上部に給気口があっても冷気を感じている住宅があった。これらの原因については今後検討する必要がある。

2) 換気気量については, 次世代省エネルギー基準の推奨値と比べると, 室別給気量についてはやや大きな値になっている。局所設計排気量はやや大きな住宅や小さな住宅が見られ, ばらつきが大きい。

また, 設計給気量と比べると実測した給気量はかなり低い値となっていた。

3) 換気システムの維持管理については, 6割以上の住宅が給排気口を清掃しているが, 換気扇, ダクトを清掃した住宅はなかった。

4) 室内環境の問題点として, 居住者からは主に結露問題, 階段室で形成されたコールドドラフトによる不快感, 換気量のアンバランス, 乾燥, 換気騒音などが挙

げられた。

窓や窓下の壁面、ドア、給気口で結露現象が見られた住宅は全部セントラル暖房で、窓ガラスが複層である。

5) 冷気流感と給気吹出しの方向との関連性については、水平吹出しの方は冷気流感が強く、壁面と平行放射状吹出しの方は冷気流が感じにくく、吹出し方向が冷気流感に強い影響をもたらしている。冷気流感と給気口の相対位置との関連性は見られず、他の要因が影響をしているものと推察できる。

## 第2章 参考文献

- 1) 李振海・吉野博：東北地方を中心とした戸建て住宅の換気システム並びに外壁給気口の熱環境に及ぼす影響に関するアンケート調査，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 I(平成 10)，pp.53～56
- 2) 北海道住宅新聞，空気汚染対策など追い風--普及に伴い課題も表面化，第 486 号(平成 10)
- 3) (財)住宅・建築省エネルギー機構，次世代省エネルギー基準セミナーテキスト(平成 11)，pp.11-3～11-18

### 第3章 外壁給気口のからの冷氣侵入に関する実測調査

#### 3.1 調査の目的

第2章のアンケート調査より、第3種機械換気システムを備えた住宅には、暖房時において給気口からの冷たい外気が室内に直接導入される為、室内環境が乱され、温熱的不快感が生じる問題が明らかとなった。そこで、本調査は3戸の实在住宅において、サーモカメラ、測温抵抗体などを用いて、給気口付近の室内温度の測定を行い、冷氣侵入の現状を把握し、不快感が生じない給気システムを検討する為のデータを蓄積することを目的とする。

#### 3.2 实在住宅Aを対象とした測定

##### 3.2.1 住宅Aの概要

住宅Aは、宮城県仙台市寺岡に位置し、枠組壁工法の2階戸建て住宅である。住宅の外観を写真3-1に、平面を図3-1に示す。延べ床面積は109.3m<sup>2</sup>である。断熱材の厚さは屋根と床が50mm、天井が75mmである。窓はすべて複層ガラス(ガラス3mm+空気層12mm+ガラス3mm)の外開き合成樹脂サッシである。

玄関ホール南側中央に厚さ20cm、高さ4.3m、幅1.5mのコの字型のトロンブ壁と、その外側の1階部分に温室が設置されている。トロンブ壁の外側の窓ガラスは2階部分が複層ガラス(ガラス3mm+空気層12mm+ガラス3mm)、1階部分は単層(厚さ4mm)で、1階の窓の上下部分は開閉できる構造となっている。又、玄関ホールの上部に開閉可能な天窓(ガラス3mm+空気層12mm+ガラス3mm)が設けられている。

建物全体の気密性能は加圧法による測定により、台所、浴室の換気口と排水口を閉の上シールし、外気に面する換気口を閉とした状態で、床面積当たりの相当隙間面積( $\alpha A'$ )は3.84cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>である。

又、1F居間の南北壁、2F主寝室、洋室1,2に角型長方形の給気口が設けられている。吹き出し方向は水平で、開口は手動調整できる。主寝室の給気口の設置状況を写真3-2に示す。



写真 3-1 住宅 A の外観

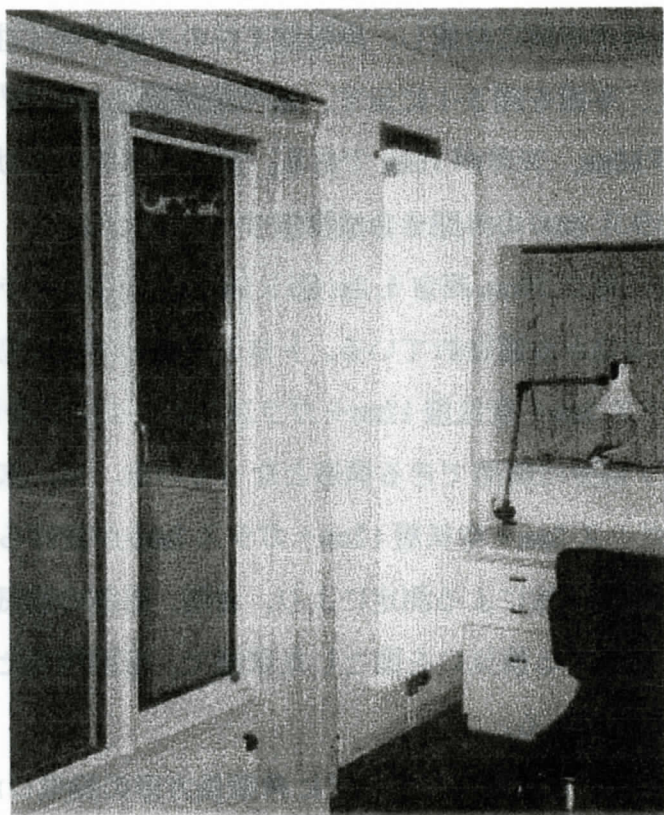


写真 3-2 住宅 A の主寝室給気口の設置状況

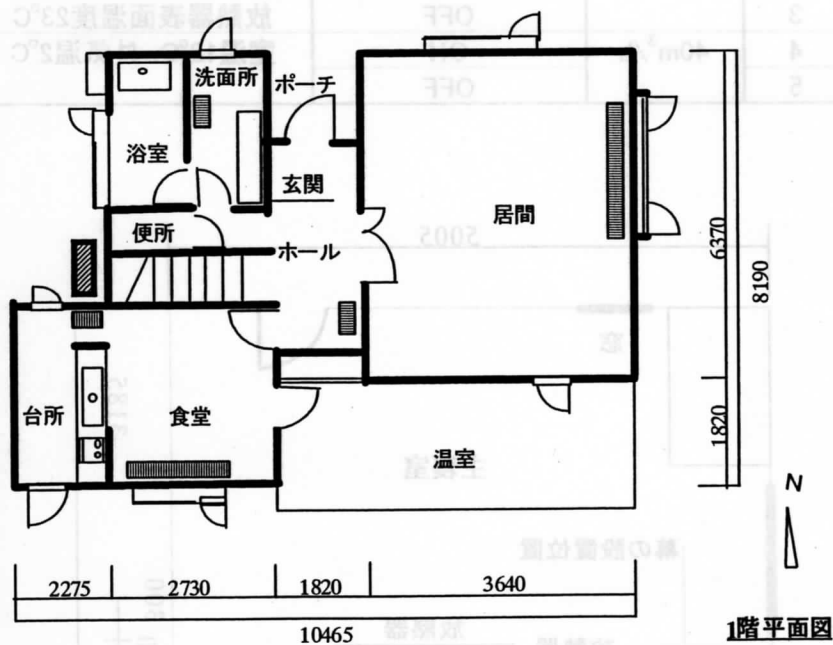
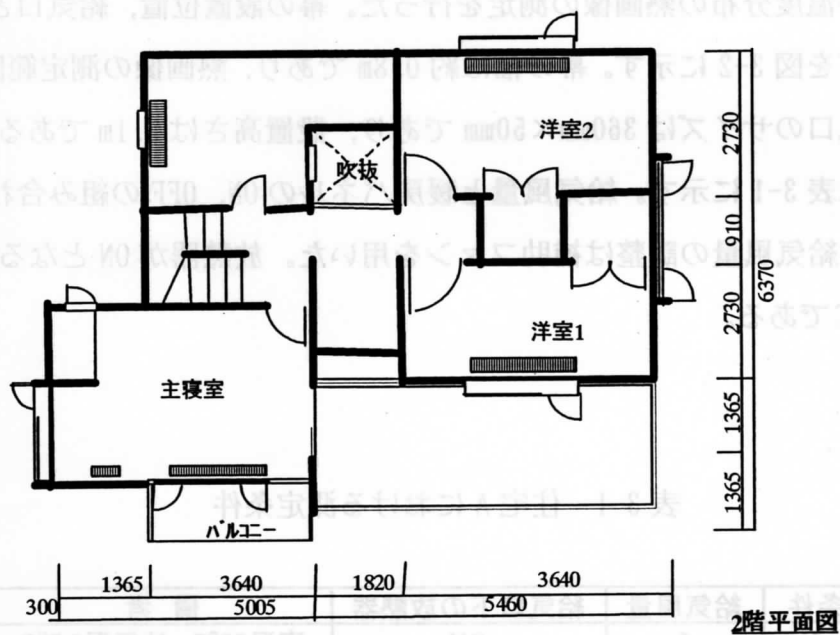


図 3-1 住宅 A の平面図



### 3.2.2 温度分布測定概要

測定は、主寝室の給気口を含めた断面に、専用幕を張り、サーモカメラを用いて、給気口付近の温度分布の熱画像の測定を行った。幕の設置位置、給気口と暖房放熱気の位置などを図 3-2 に示す。幕の幅は約 0.8m であり、熱画像の測定範囲は図 3-3 に示す。給気口のサイズは 360mm×50mm であり、設置高さは 2.1m である。

測定条件は表 3-1 に示す。給気風量と暖房パネルの ON, OFF の組み合わせで 5 条件を設けた。給気風量の調整は補助ファンを用いた。放熱器が ON となる時の表面温度は 43.5℃である。

表 3-1 住宅 A における測定条件

条件	給気風量	給気口下の放熱器	備 考
1	0	ON	室温20℃, 外気温2.5℃
2	20m <sup>3</sup> /h	OFF	放熱器表面温度23℃
3			
4	40m <sup>3</sup> /h	ON	室温18℃, 外気温2℃
5		OFF	

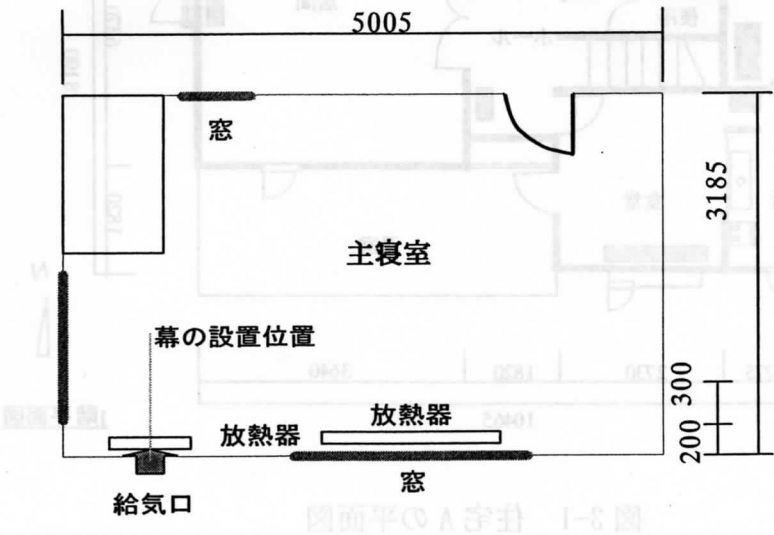
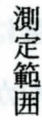


図 3-2 幕の設置位置と給気口・放熱器の位置



### 3.2.3 測定結果

測定の結果は図 3-4, 3-5 に示す。

給気風量は  $20\text{m}^3/\text{h}$  の場合、給気口下の放熱器が OFF する時に、冷気流が勢い強く室内に向けて侵入していおり、給気口と約  $0.9\text{m}$  と離れたところの空気温度は約  $16.5^\circ\text{C}$  と低い。給気口下の放熱器が ON する時には、流入した冷気は放熱器により混合加熱され、室内への冷気流侵入現象は見られない。

給気風量は  $40\text{m}^3/\text{h}$  の場合、 $20\text{m}^3/\text{h}$  の場合と比べて、給気口下の放熱器が OFF する時に、冷気流の室内に向けての侵入はもっと強く、給気口と約  $0.9\text{m}$  と離れたところの空気温度は約  $15^\circ\text{C}$  である。給気口下の放熱器が ON する時には、給気風量が倍になるにもかかわらず、室内への冷気流侵入現象は見られない。

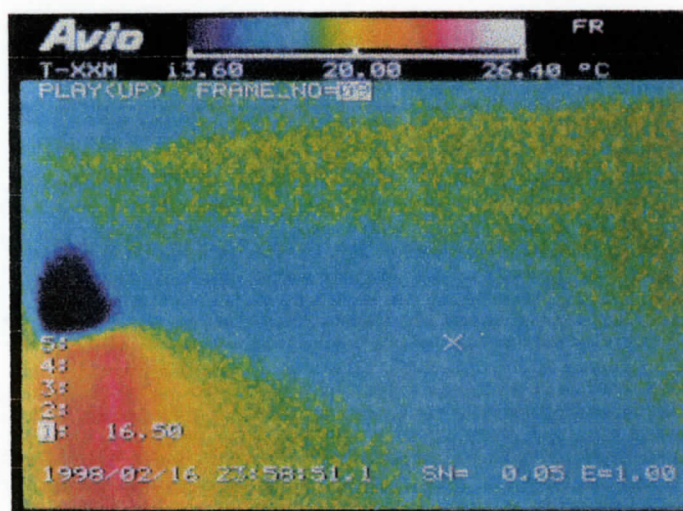
### 3.2.4 考察

水平吹き出す型の給気口は給気風量が  $20\text{m}^3/\text{h}$  の時にも、室内に向けての冷気侵入は強く、給気口付近の広い範囲に温熱的不快な環境が形成されている。給気口の下に放熱器を設けた場合は、給気風量が  $40\text{m}^3/\text{h}$  の時でも、冷気流の侵入防止ができた。

図 3-4 図 3-5



給気風量 20m<sup>3</sup>/h, 給気口下の放熱器 OFF



給気風量 20m<sup>3</sup>/h, 給気口下の放熱器 ON

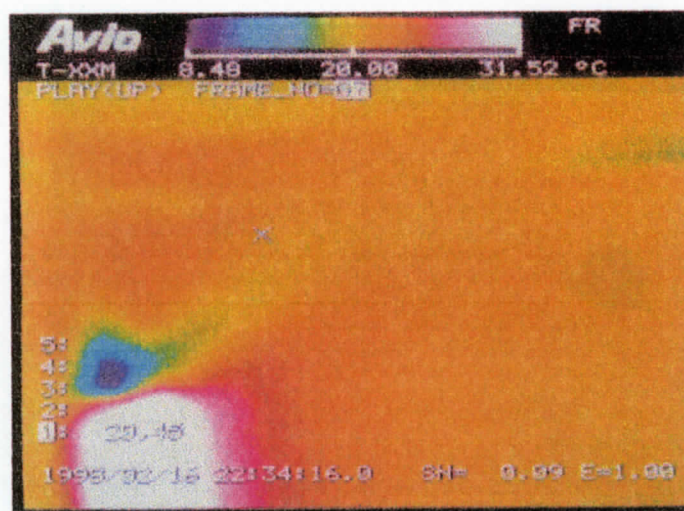
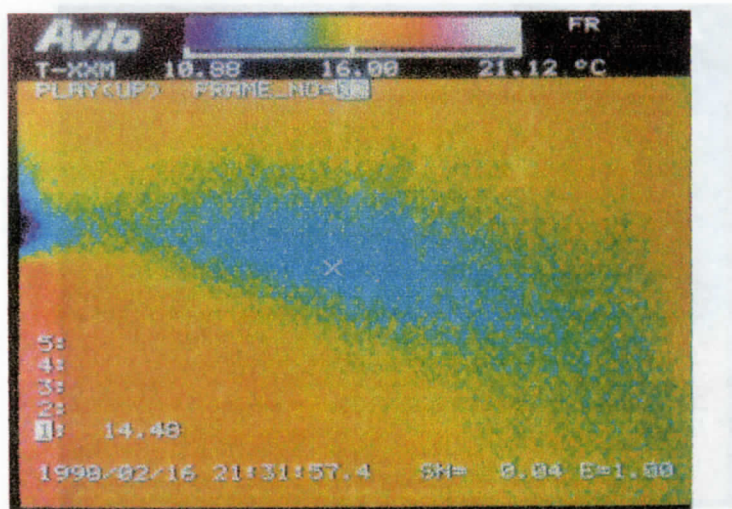


図 3-4 給気風量 20m<sup>3</sup>/h の時の温度分布の測定結果

給気風量 40m<sup>3</sup>/h, 給気口下の放熱器 OFF



給気風量 40m<sup>3</sup>/h, 給気口下の放熱器 ON

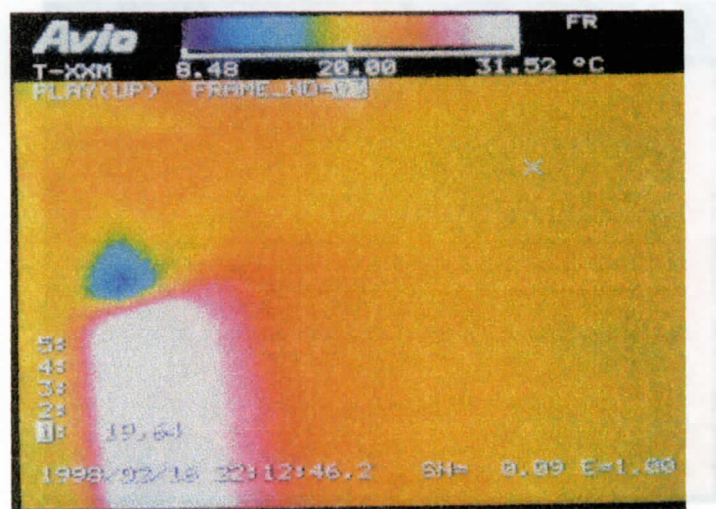


図 3-5 給気風量 40m<sup>3</sup>/h の時の温度分布の測定結果

### 3.3 実在住宅 B を対象とした測定

#### 3.3.1 住宅 B の概要

住宅 B は、亘理郡山元町に位置し、96 年 9 月に竣工した南向き 2 階戸建て住宅である。住宅の外観を写真 3-3 に、平面を図 3-6 に示す。

断熱材は、硬質ウレタンフォームであり、屋根に 50mm、外壁、基礎、床に 40mm 施されている。基礎土間コンクリートの下に 50mm のスタイロエース 2 層及び防湿シートを使用している。窓には、三協アルミ引違い樹脂サッシの複層ガラスのうち、居間の窓のみ Low-E ガラスを使用している。延べ床面積は 126 m<sup>2</sup>、熱損失係数は 1.26kcal/m<sup>2</sup>h℃である。各部の面積と熱貫流率を表 3-2 に示す。気密の確保のため、10mm 厚の 3K 気密バンドが床、屋根、外壁に施されている。

住宅全体の気密性能については、給排気口ともにシールなしの場合における、単位床面積当たりの隙間相当開口面積  $\alpha A'$  は 1.54cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>である。

暖房設備は温水パネルヒーティングシステムであり、各部屋に設置された 9 枚のパネルには自動室温コントロールサーモスタットがついており、室温と設定室温との温度差に対応してパネルへの温水流量を調節する。暖房ボイラー能力は 6670kcal/h、燃料消費量は 0.9l/h である。各室への放熱量と単位床面積当たりの放熱量を表 3-3 に示す。また、居間と 2F ホールには冷房設備として壁掛け型エアコンディショナ（冷房能力は、居間 3.2kW、2F ホール 1.8kW である）が設置されている。和室上部の南側屋根面には、太陽熱温水器が設置されており、灯油熱源のボイラーと併用することにより給湯をまかなっている。

住宅に設置された換気システムは、図 3-7 に示すように、自然給気・強制排気方式(第 3 種機械換気)である。外気は外壁面の通気層を経由して、居間、和室 A、和室 B 及び 2 階階段ホールの室内壁面に設けられた給気口より、室内へと供給される。一方、居間、和室 A、和室 B の床面には床下に通じる開口が設けられ、床下を経由して排気される。又、洋室 B には天井に通じる開口が設けられ、小屋裏を経由して排気される。台所、洋室、トイレ、洋室 A の物入れ、洋室 B のクローゼットの天井面には排気口が設けられ、排気ダクトを経由して屋外へと排出される。各部の設計換気量と換気回数を図 3-8 に示す。



自然給気には外気温による風量調整型給気口を使用している。外気が給気口を通して、壁と小さい角度で放射状に吹き出している。



写真 3-3 住宅Bの外観

表 3-2 各部の面積と熱貫流率

部位	面積 (m <sup>2</sup> )	熱貫流率 (kcal/m <sup>2</sup> h℃)	部位	面積 (m <sup>2</sup> )	熱貫流率 (kcal/m <sup>2</sup> h℃)
外壁 居間・食堂・台所	31.5	0.42	窓 洋室A, 洋室B, 食堂	2.0	2
玄関	3.7		居間	4.9	
浴室	3.6		台所	1.0	
便所	4.1		和室A	2.0	2.2
洋室A	18.8		和室B	3.4	
洋室B	16.2		屋根 西側	45.6	0.34
2Fホール	13.9		東側	76.8	
和室A	16.2	0.43	床下 和室	29	0.36
和室B	17.1		和室以外	58	0.37
玄関ドア	2	1.8			

表 3-3 部屋別の放熱量と単位床面積当たりの放熱量

部屋	放熱量 (kcal/h)	単位床面積当たり放熱量 (kcal/m <sup>2</sup> h)
1 階		
居間・食堂・台所	2272	72.1
和室A	625	50.4
和室B	726	40.6
玄関	328	49.5
洗面所	212	42.7
便所	127	38.3
2 階		
洋室A	625	39.8
洋室B	625	46.9
合計	5540	43.6

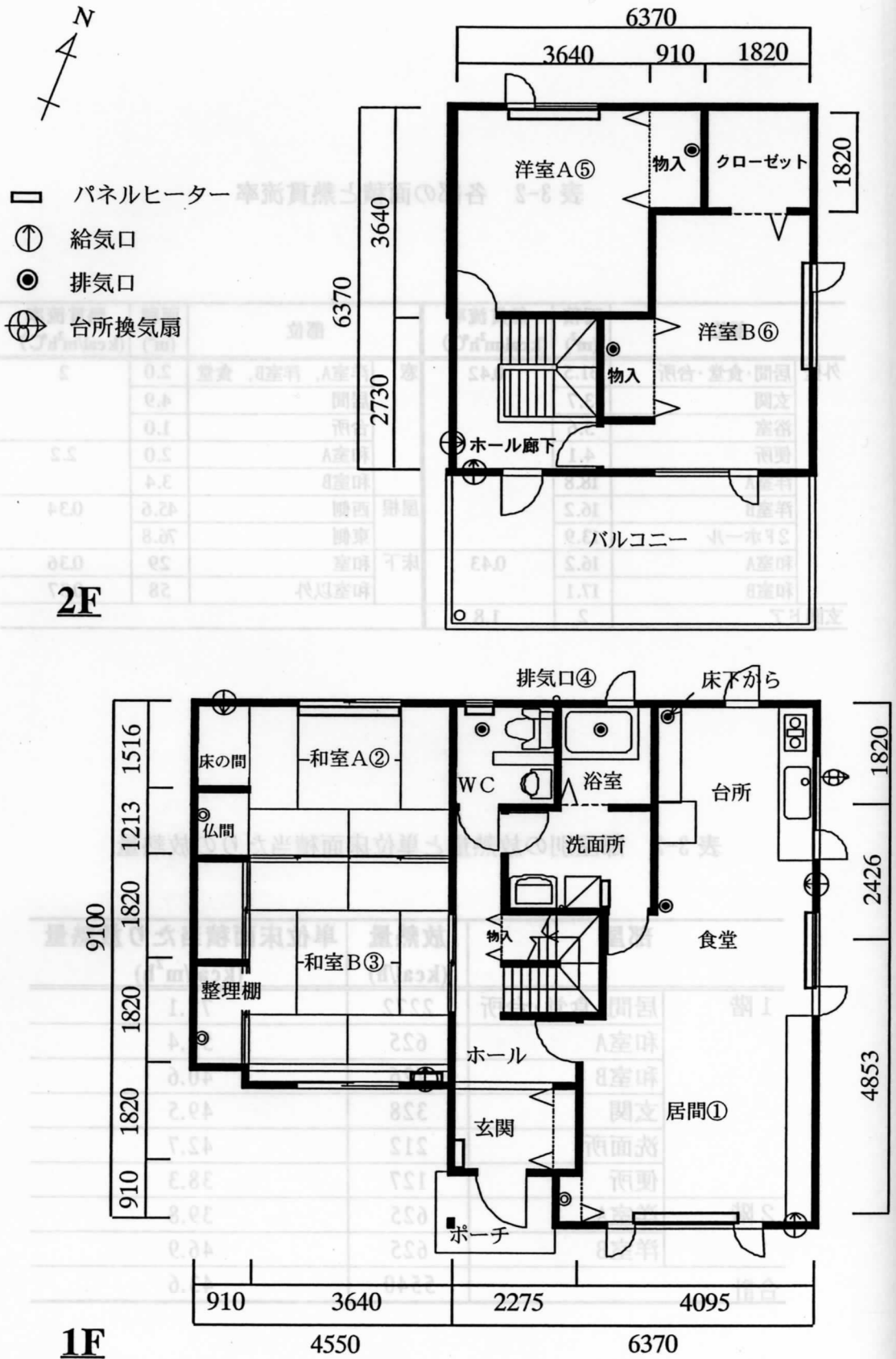


図 3-6 住宅 B の平面図



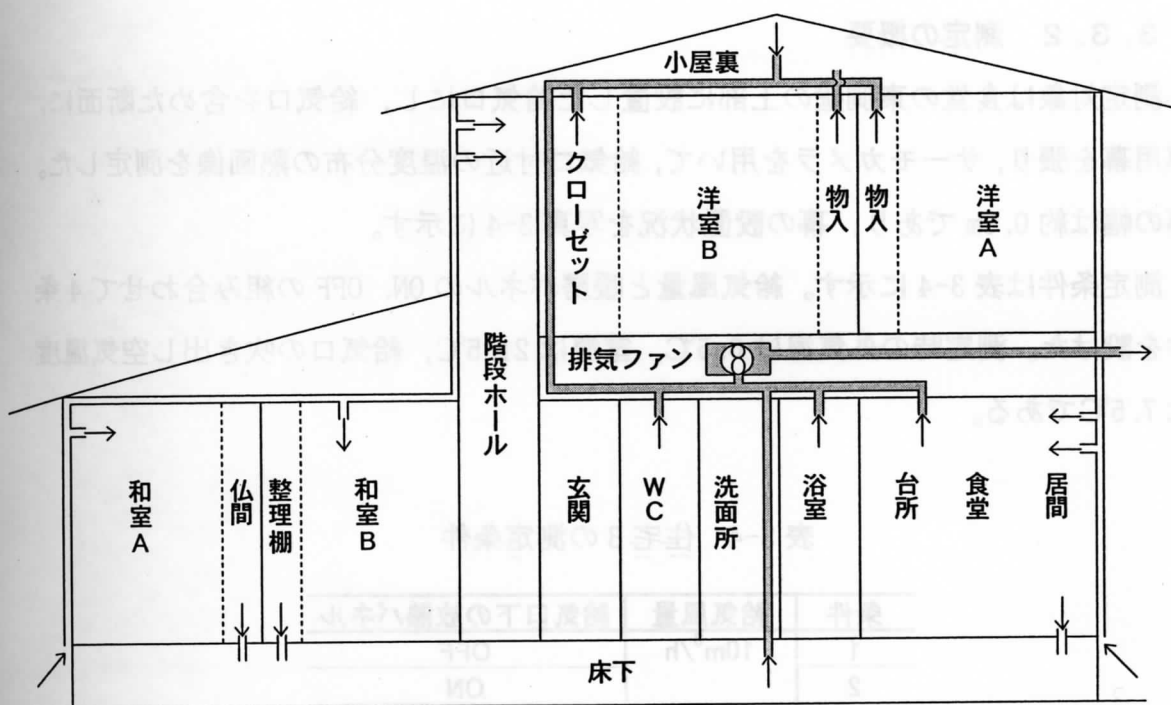
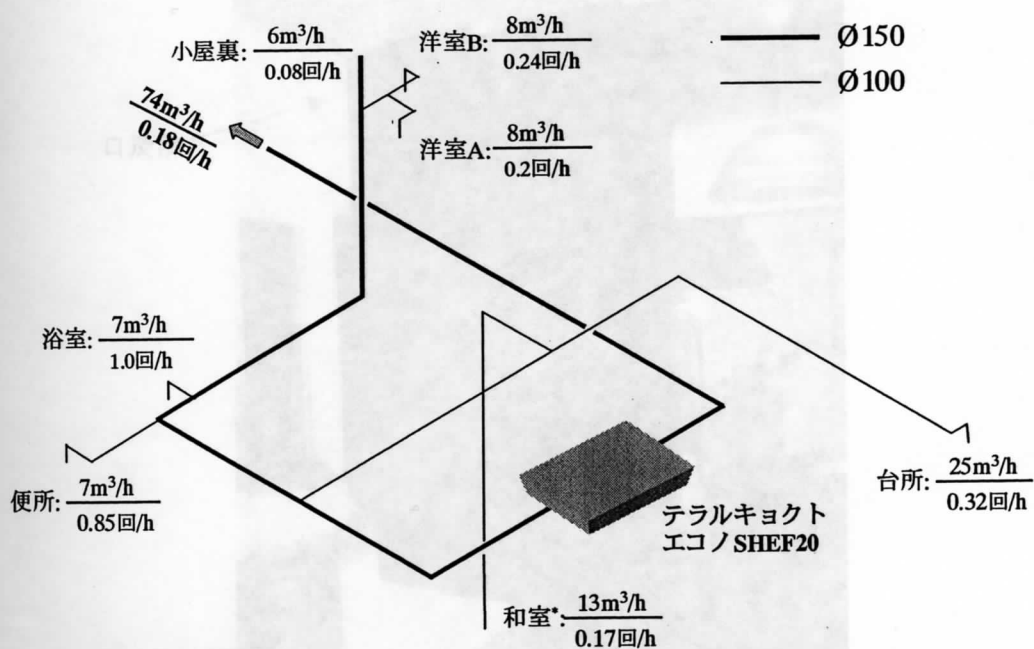


図 3-7 住宅 B の換気システムの概要



\* 和室の換気方式は、壁内より床下に通気口をとり、和室の空気を床下に吸い込む方式である。

図 3-8 各部の計画換気量と換気回数

### 3.3.2 測定の概要

測定対象は食堂の東側壁の上部に設置した給気口にし、給気口を含めた断面に、専用幕を張り、サーモカメラを用いて、給気口付近の温度分布の熱画像を測定した。幕の幅は約0.8mであり、幕の設置状況を写真3-4に示す。

測定条件は表3-4に示す。給気風量と暖房パネルのON、OFFの組み合わせで4条件を設けた。測定時の外気温は0.5℃、室温は21.5℃、給気口の吹き出し空気温度は7.5℃である。

表 3-4 住宅Bの測定条件

条件	給気風量	給気口下の放熱パネル
1	10m <sup>3</sup> /h	OFF
2		ON
3	20m <sup>3</sup> /h	OFF
4		ON

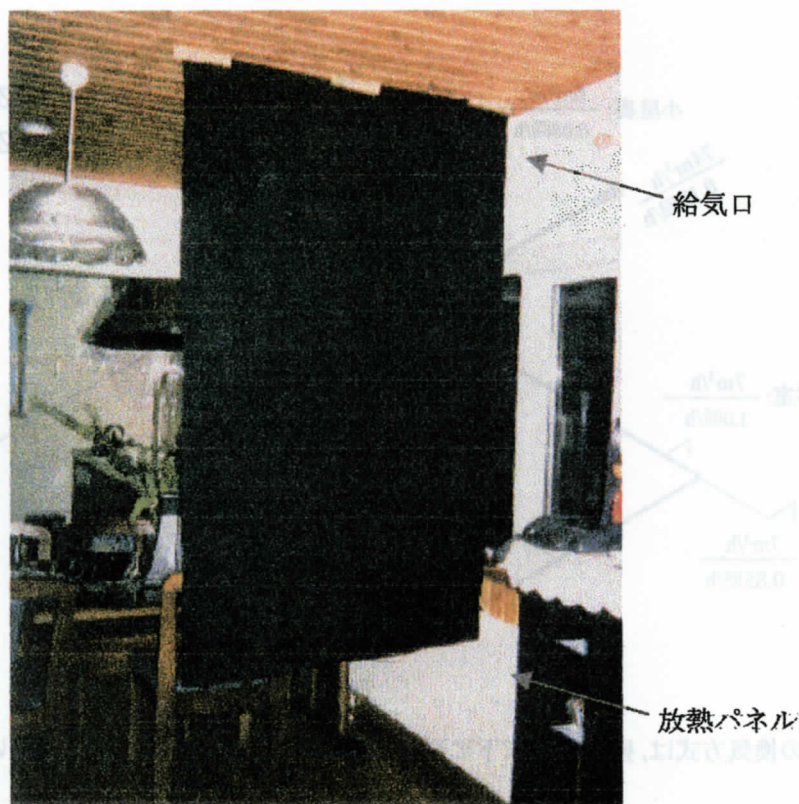


写真 3-4 幕の設置状況

### 3.3.3 温度分布の測定結果

測定の結果は図 3-9, 3-10 に示す。

給気口下の放熱器が OFF する場合, 給気風量は  $20\text{m}^3/\text{h}$  の時に, 外気が壁と僅かの角度で放射状に吹き出し, 上部の方が天井にぶつかってから室内に広がる。給気口の下方床付近に空気温度が僅か低くなっているが, 室内への冷気流侵入現象は見られない。

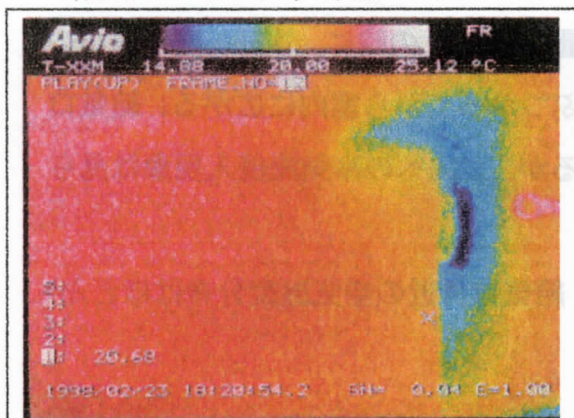
又, 給気口下の放熱器が ON する場合には, 給気口付近の空気温度分布はほとんどない。

### 3.3.4 考察

住宅 B の場合, 通気層から給気するため, 冷たい外気が通気層を通過するときに暖めされ, 室内に吹き出すときに, 空気温度は外気温より  $7^\circ\text{C}$  と高い。従って, 通気層から給気する方法は, 冷気流の侵入防止の観点から効果的である。



給気風量 20m<sup>3</sup>/h, 放熱パネル OFF



給気風量 10m<sup>3</sup>/h, 放熱パネル OFF

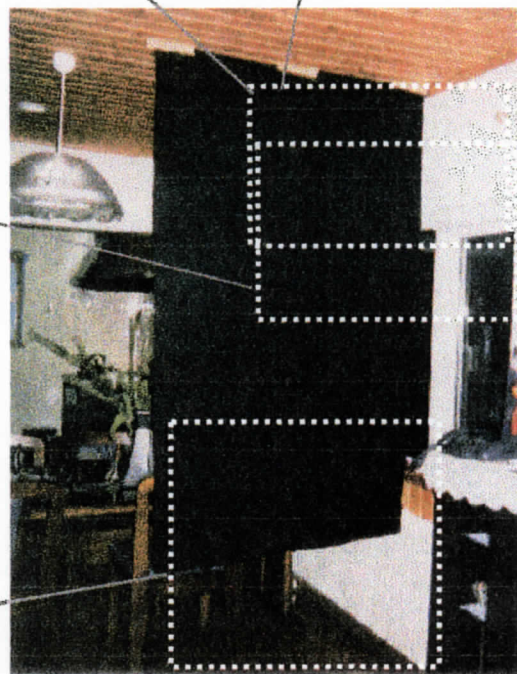
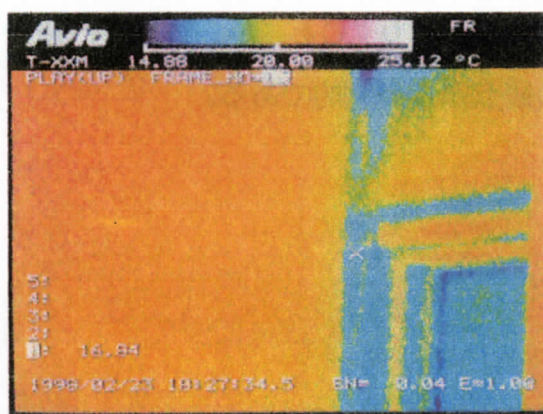
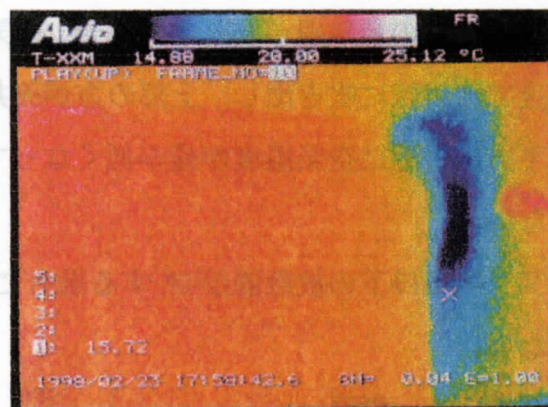


図 3-9 給気口下の放熱パネルが OFF する時の測定結果



給気風量 20m<sup>3</sup>/h, 放熱パネル ON

給気風量 10m<sup>3</sup>/h, 放熱パネル ON

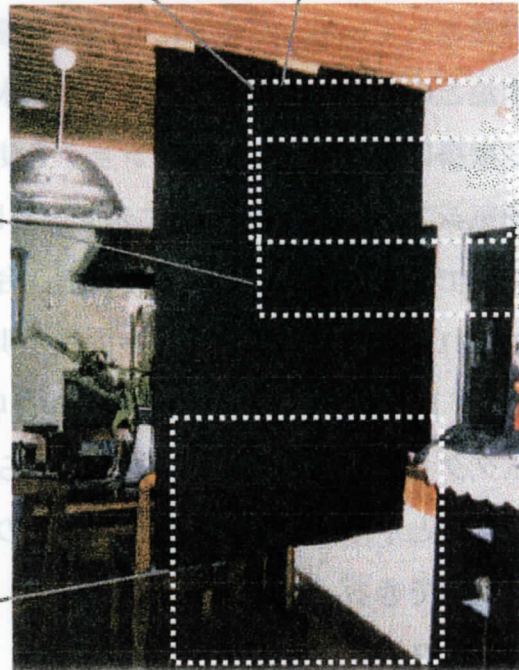
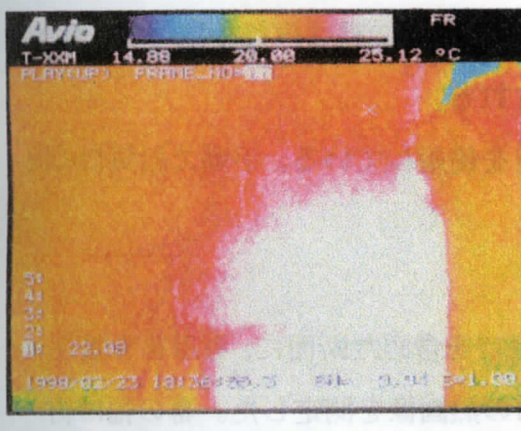
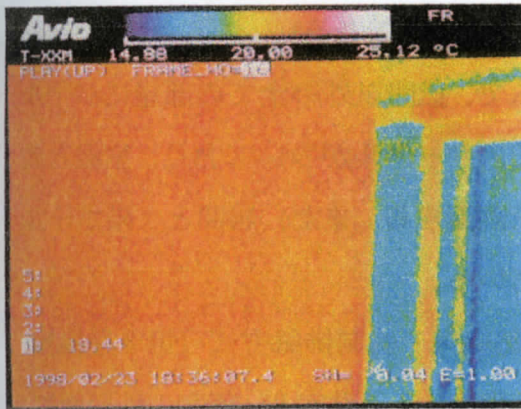
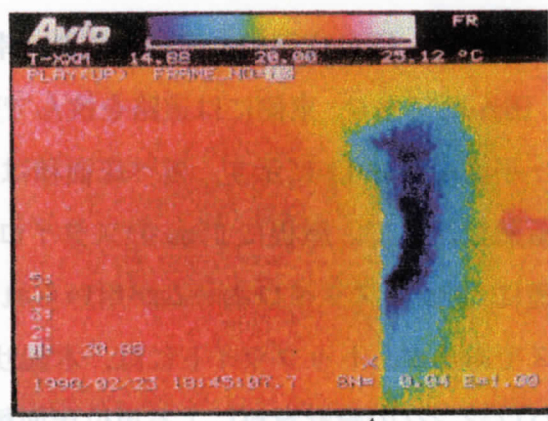
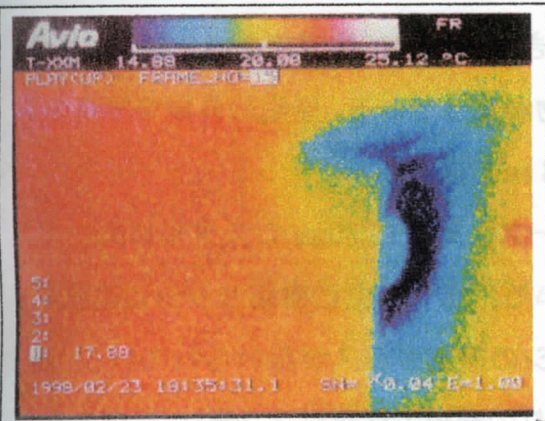


図 3-10 給気口下の放熱パネルが ON する時の測定結果

### 3.4 実在住宅Cを対象とした測定

#### 3.4.1 住宅Cの概要

住宅Cは、福島市御山に建設された、南向き2階戸建て住宅である。住宅の周りは、田んぼであり、東側には道路を挟んで建物が建っている。住宅の外観を写真3-5に、平面を図3-11に示す。延べ床面積は143 m<sup>2</sup>である。

断熱材として、屋根に65mmのスタイロエース、外壁に50mmのスタイロエース、基礎に50mmのスタイロホームが用いられている。窓は、主に樹脂サッシの複層ガラスであるが、トップライトには、木製サッシの複層ガラスが用いられている。高建ハウジングの設計資料による単位床面積当りの熱損失係数は2.20W/m<sup>2</sup>℃である。

住宅全体の気密性能については、給排気口ともにシールなしの場合における、単位床面積当たりの隙間相当開口面積 $\alpha A'$ は1.33cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>である。

暖房設備は温水パネルヒーティングシステムで、仏間以外の全ての部屋にパネルが設置されている。パネルには自動室温サーモスタットがついており、室温と設定室温との温度差に対してパネルの温水流量を調節する。また、居間と2階ホールには壁掛け型エアコンディショナを使用している。

換気システムは、図3-12に示すように、自然給気・強制排気方式（第3種機械換気）である。外気は、居間、和室、台所、子供室A、子供室B、寝室の外壁面に設けられた給気口より、直接室内へと供給される。一方、室内の空気は、洗面所、1階トイレ、2階トイレ、段階ホール、収納室の天井面に設けられた排気口より、排気ダクトを経由して屋外の排気口から排出される。

壁と平行に放射状に吹き出す型の給気口を使用している。手動で給気口の開口を調整できる。

#### 3.4.2 測定の概要

測定対象は1F居間の外壁給気口にし、給気口を含めた断面に、専用幕を張り、サーモカメラを用いて、給気口付近の温度分布の熱画像を測定した。幕の幅は約0.8mであり、幕の設置状況を写真3-6に示す。

測定条件は表3-5に示す。給気風量と暖房パネルのON、OFFの組み合わせて4条件を設けた。測定時の外気温は2℃、室温は21℃である。





写真 3-5 住宅 C の外観

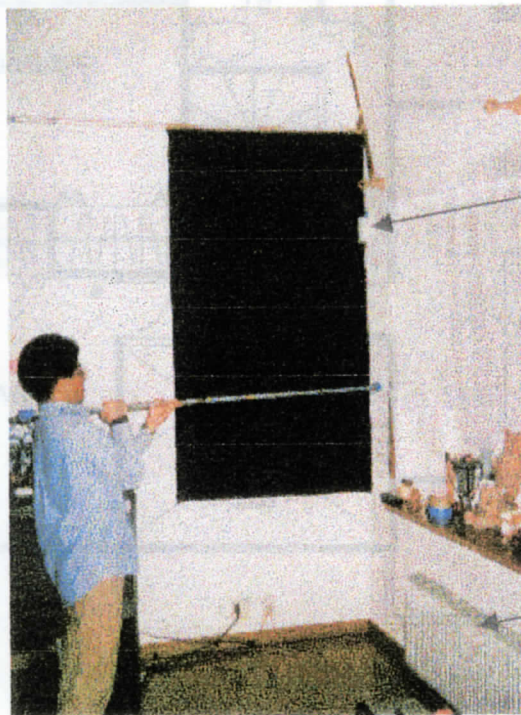
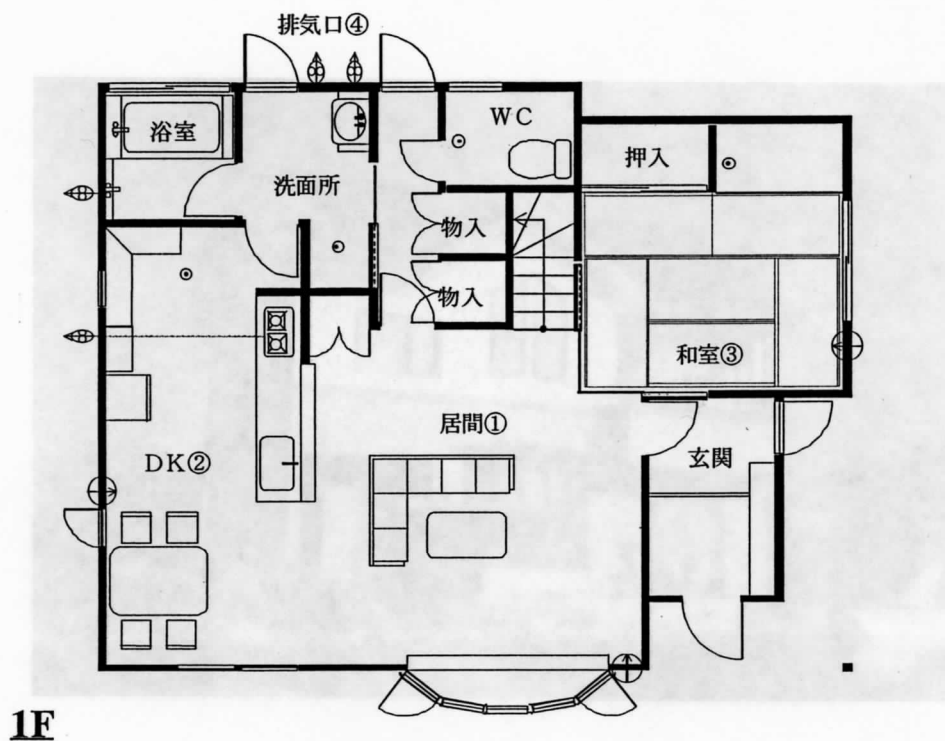
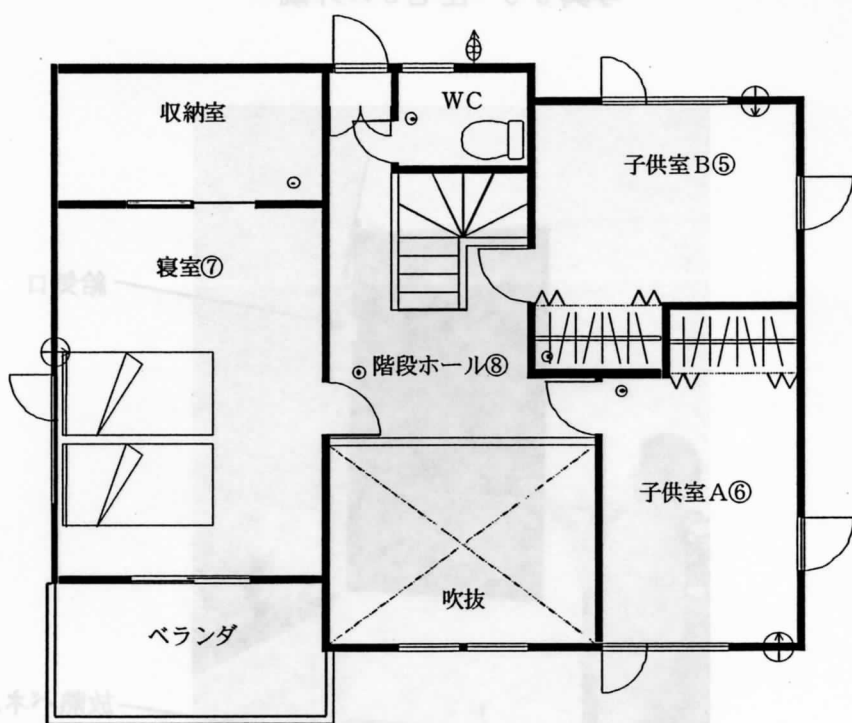


写真 3-6 幕の設置状況



1F



2F

図 3-11 住宅 C の平面図

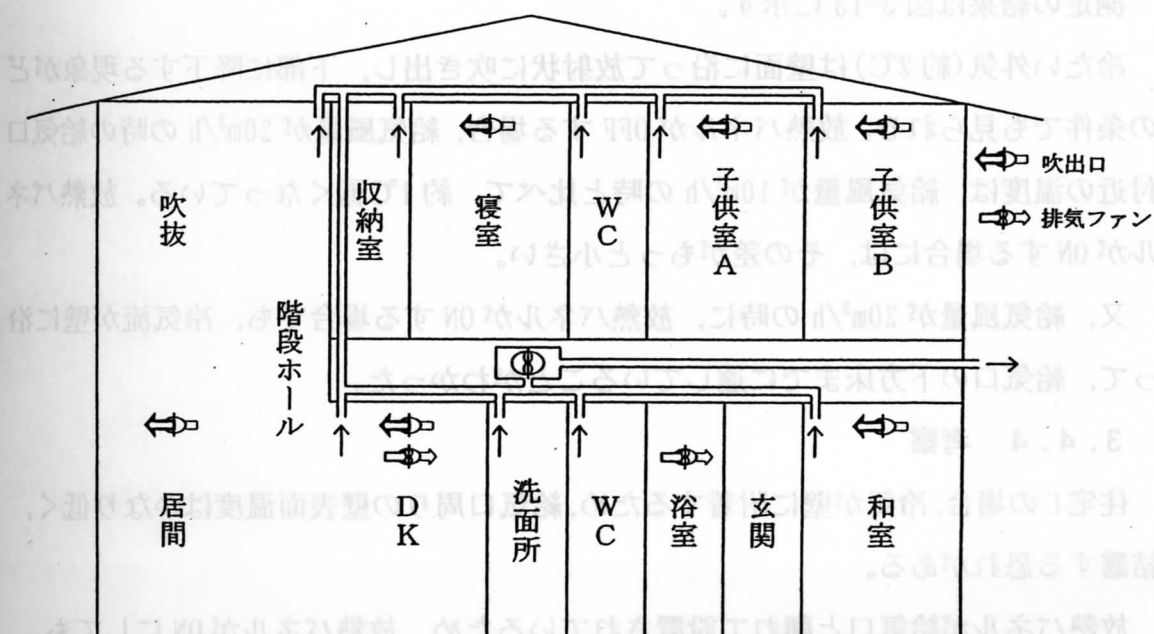


図 3-12 住宅 C の換気システムの概要

表 3-5 住宅 C における測定条件

条件	給気風量	給気口近傍の放熱パネル
1	10m <sup>3</sup> /h	OFF
2		ON
3	20m <sup>3</sup> /h	OFF
4		ON

### 3.4.3 温度分布の測定結果

測定の結果は図 3-13 に示す。

冷たい外気(約 2℃)は壁面に沿って放射状に吹き出し、下部に降下する現象がどの条件でも見られる。放熱パネルが OFF する場合、給気風量が 20m<sup>3</sup>/h の時の給気口付近の温度は、給気風量が 10m<sup>3</sup>/h の時と比べて、約 1℃低くなっている。放熱パネルが ON する場合には、その差がもっと小さい。

又、給気風量が 20m<sup>3</sup>/h の時に、放熱パネルが ON する場合でも、冷気流が壁に沿って、給気口の下方床までに達していることがわかった。

### 3.4.4 考察

住宅 C の場合、冷気が壁に附着するため、給気口周りの壁表面温度はかなり低く、結露する恐れがある。

放熱パネルが給気口と離れて設置されているため、放熱パネルが ON にしても、給気口付近の空気温度分布には、僅かにしか影響を及ばない。

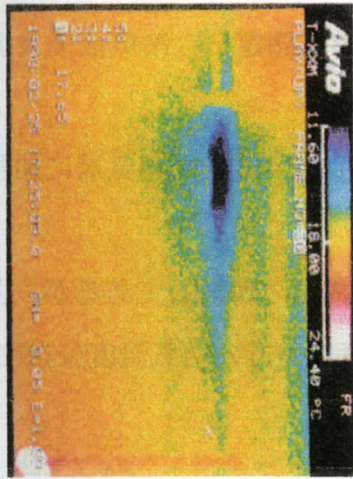
図 3-13 住宅 C の給気口付近の温度分布

表 3-8 住宅 C における測定条件

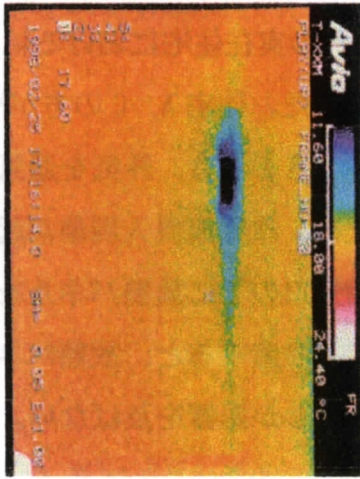
給気口付近の放熱パネル	給気風量	条件
OFF	10m <sup>3</sup> /h	1
ON	10m <sup>3</sup> /h	2
OFF	20m <sup>3</sup> /h	3
ON	20m <sup>3</sup> /h	4



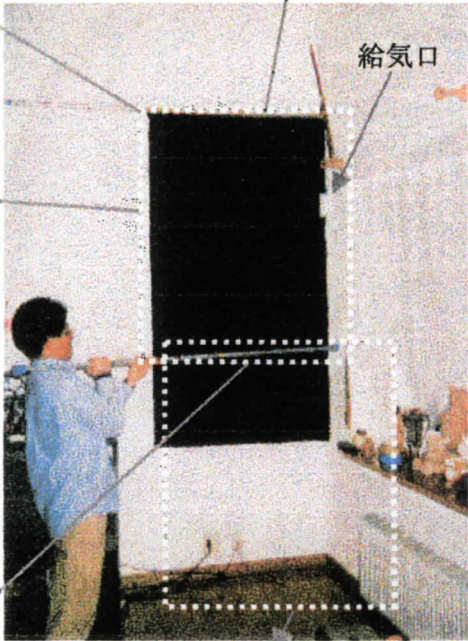
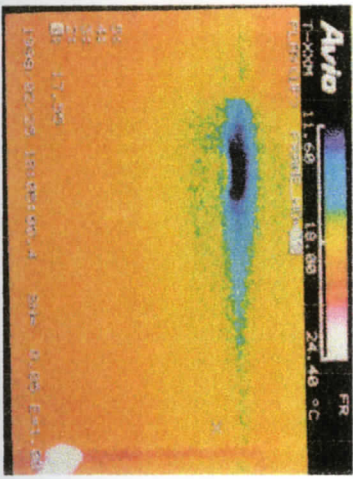
給気風量 20m<sup>3</sup>/h, 放熱パネル OFF



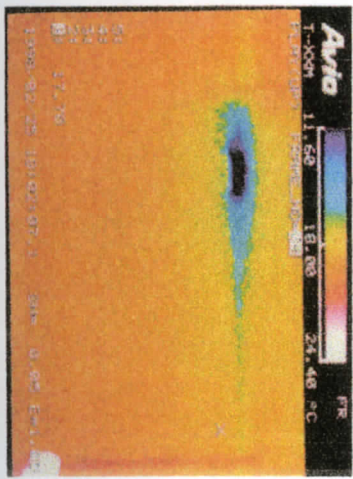
給気風量 10m<sup>3</sup>/h, 放熱パネル OFF



給気風量 20m<sup>3</sup>/h, 放熱パネル ON



給気風量 10m<sup>3</sup>/h, 放熱パネル ON



給気風量 20m<sup>3</sup>/h  
放熱パネル ON



図 3-13 住宅 C の測定結果

### 3.5 まとめ

3戸の実在住宅における給気口付近の空気温度分布を測定し、冷気流侵入状況を把握した。住宅A、Cの方が冷気流の侵入が見られた。

住宅Bの場合、外気を通気層に經由して導入し、冷たい外気が通気層に加熱されるため、冷気流侵入現象が起きなかった。

給気口の下に放熱パネルを設置した場合、冷気流防止に効果的であるが、少し離れて、設置すると、放熱パネルがONにしても、給気口付近の空気温度分布には、僅かにしか影響を及ぼさない。

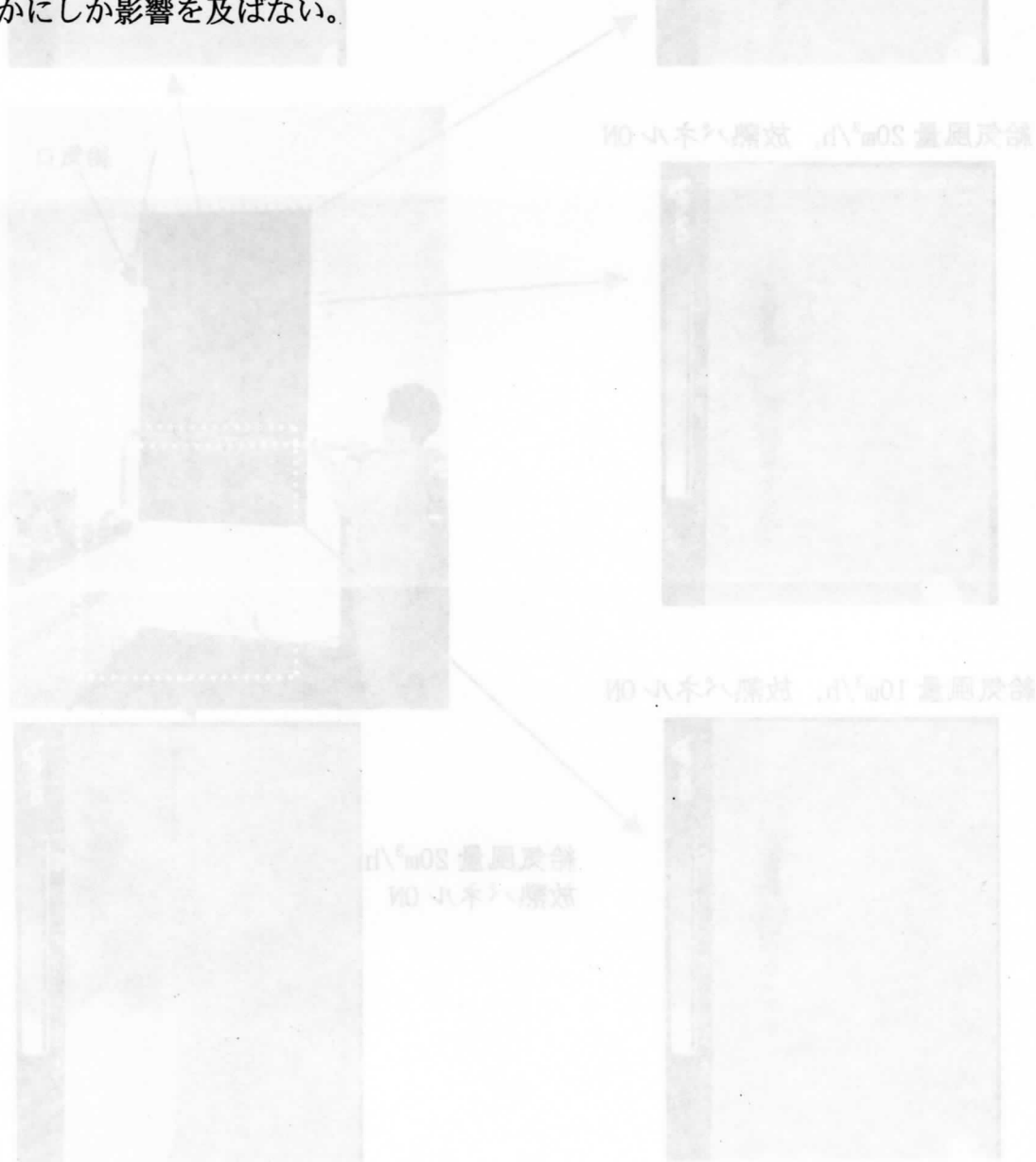


図3-15 実験室の空気温度分布

## 第4章 外壁給気口機器に関する調査

### 4.1 給気口の種類

住宅に使われている外壁用自然給気口は多種多様である。第3種換気システムは給気用のファンを持たないため、様々な環境条件下で、安定した給気量が確保されにくいということで、近年、給気口に工夫を凝らしたものが開発されている。

外壁用自然給気口は開口の調整方法によって以下に分類できる。

#### (1) 自動調整機能付

##### ① 外気温による調整

サーモセンサーを用いて外気温を感知し、外気温に応じて開口の調整を行う。外気温が低いときに開口面積が小さく、高いときに開口が大きくと変化する。

##### ② 風圧による調整

給気口前後の圧力差に応じて、開口の調整を行う。圧力差が大きいときに開口面積が小さく、小さいときに開口面積が大きくと変化する。

##### ③ 室内湿度による調整

室内湿度を感知し、湿度に応じて開口の調整を行う。室内相対湿度が低いときに開口面積が小さく、高いときに開口面積が大きくと変化する。

#### (2) 手動調整

給気口の開口の調整は手動で行う。

#### (3) 調整できない

給気口の開口が固定され調整できない。

### 4.2 市販されている自然給気口の調査

現在、国内外で数多くのメーカーが外壁用自然給気口を生産している。本研究ではカタログなどを収集し、調査を行った。表4-1に外壁用自然給気口を取り扱う各社の給気口の形状、材質、開口の調整方法、吹き出し方向を示す。



表4-1 外壁用自然給気口の種類

企業番号	レジスター形状	材質	開口調整方法	吹き出し方向
1	角型, 丸型	アルミ, ステンレス, スチール, 樹脂	手動調整, 外気温, 湿度による調整	水平, 壁と平行に放射状, 壁と小角度で放射状
2	丸型	ステンレス	手動調整	水平
3	角型, 丸型	樹脂	手動調整, 調整不可(開閉可)	水平, 壁と平行に放射状, 壁と大角度で放射状
4	角型, 丸型	樹脂, アルミ, 鋼板	手動調整	水平, 球面放射状
5	角型, 丸型	樹脂, ステンレス, スチール	手動調整	水平
6	角型	樹脂	手動調整	壁と平行に上左右3方向
7	丸型	樹脂	手動調整	壁に平行放射状
8	丸型	樹脂	外気温による調整	壁面と小角度で放射状
9	丸型	樹脂	手動4段切り替え	壁と平行に放射状
			手動無段調整	壁と平行に上下左右4方向
10	角型, 丸型	樹脂, ステンレス, アルミ	手動調整	水平, 壁と一定の角度で上下左右4方向
12	角型	樹脂	手動調整	壁と平行に上左右3方向
13	角型	樹脂	調整不可	上向き
14	丸型	樹脂, ステンレス	調整不可	壁に平行放射状
15	丸型	樹脂, ステンレス	風圧による調整	上向き
16	角型	樹脂	方向別止める可	壁に平行に上下左右4方向
17	角型	樹脂	湿度による調整	壁と一定の角度で左右2方向, 水平と上向き可変式

#### (1) レジスターの形状

レジスターの形状は丸型と角型と2種類がある。角型給気口は水平に吹き出し方向はであり、上向きに吹き出す給気口もあるが少ない。

#### (2) 材質

給気口の材質は樹脂、アルミ、ステンレス、スチールなどがあるが、樹脂は主流である。

#### (3) 開口調整方法

表4-1に示したように、開口の調整は不可な給気口があったが少なかった。大体の給気口が何らかの方法で開口の調整ができる。調整方法として、手動調整の方が多いが、外気温や風圧、室内相対湿度による自動調整もある。

#### (4) 給気口の吹き出し方向

給気口の吹き出し方向は表4-1に示したようにいろいろである。丸型給気口には、壁と平行に放射状に吹き出し、壁と一定の角度で放射状に吹き出しの方が多い。角型給気口には、水平に吹き出し、壁と平行に上下左右に吹き出し、上向きに吹き出しの方が多い。

### 4.3 典型的な給気口の性能検討

検定用小型風洞を用いて、典型的な給気口に対し、通気性能実験を行った。写真4-1、4-2と図4-1に示したように風洞出口とチャンバーをダクトで接続し、そのチャンバーに給気口を設置した。

#### 4.3.1 手動調整型給気口の特性

表4-1の7番の給気口を典型的な手動調整型給気口として、図4-1の装置を用いて通気性能を調べた。図4-2は給気口の室内側形状と寸法を示す。給気口は径100mmの筒状のダクトとその先端に取り付けられたカバーなどから成る。給気口の開閉は、紐を引っ張って、カバーをダクトに付けたたり離したりすることによって可能である。又、開口幅の調整はカバー部の回転で行う。

実験は、開口幅が3mm、10mm、18mmとなるように手動調整した3条件で行った。その結果は図4-3に示す。開口幅が3mmから10mmまでに増大する時に、風量が大

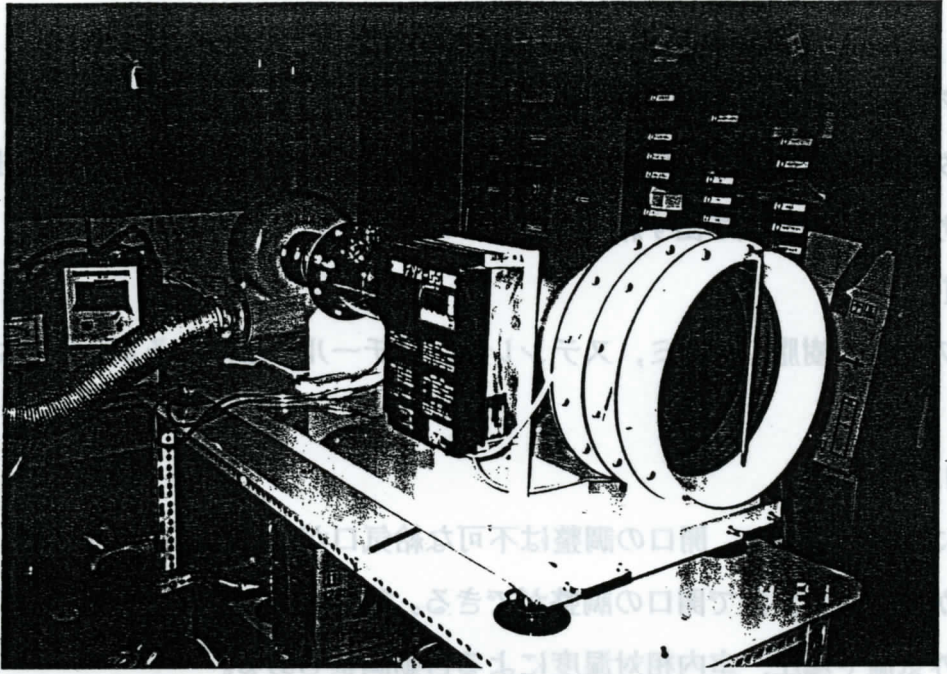


写真 4-1 検定用小型風洞

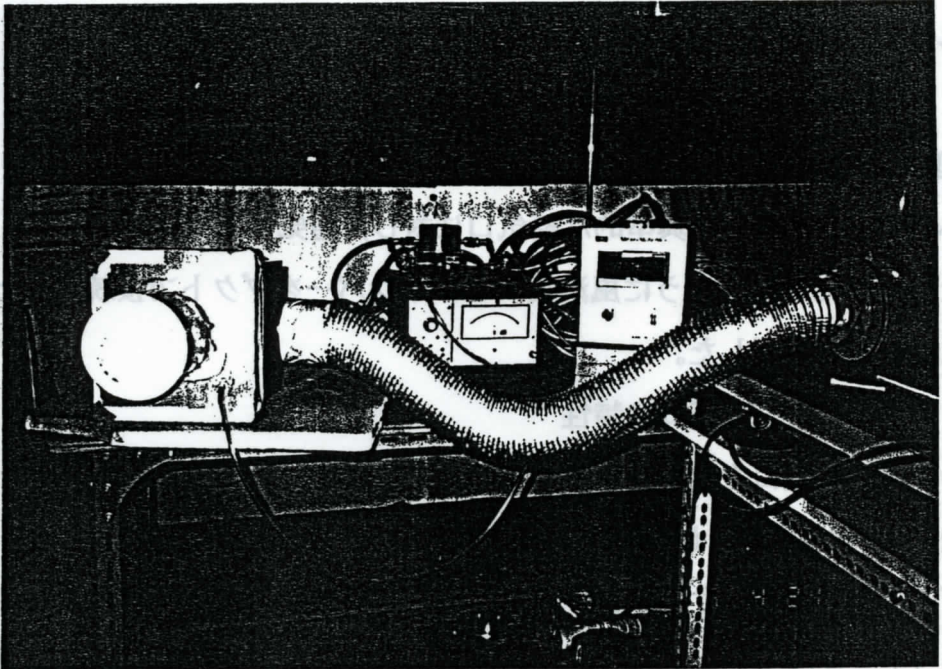


写真 4-2 風洞とダクトで接続されたチャンバーに給気口を取り付けた状態

幅に増加したが、10mm から 18mm までに増大する時には、風量がわずかしき増加しなかった。差圧が 1mmAq の時に、開口幅が 3mm, 10mm, 18mm の場合、通気風量がそれぞれ 15m<sup>3</sup>/h, 23m<sup>3</sup>/h, 25m<sup>3</sup>/h である。

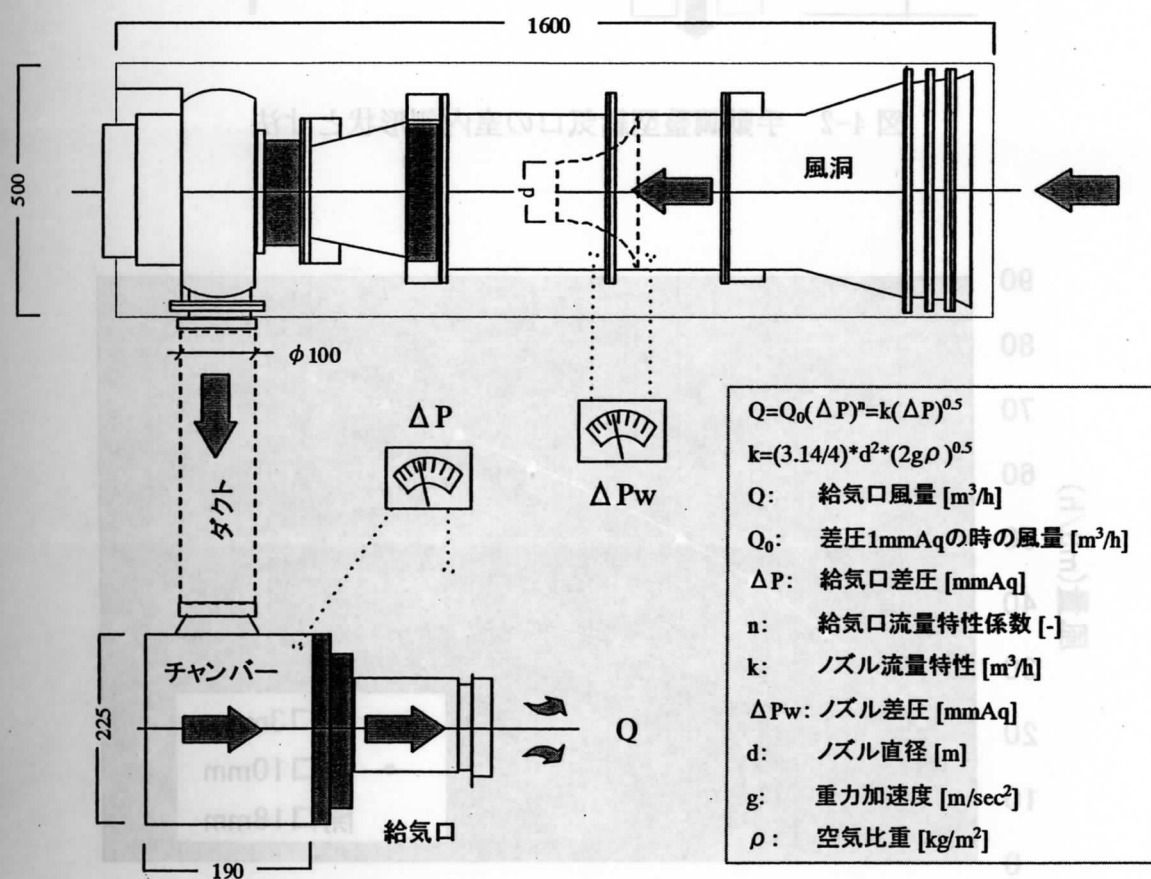


図 4-1 検定用小型風洞取り付けしたチャンバーと給気口



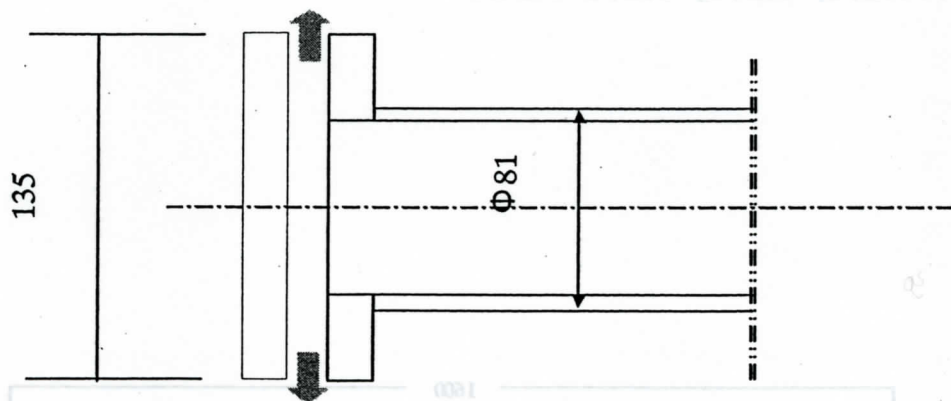


図 4-2 手動調整型給気口の室内側形状と寸法

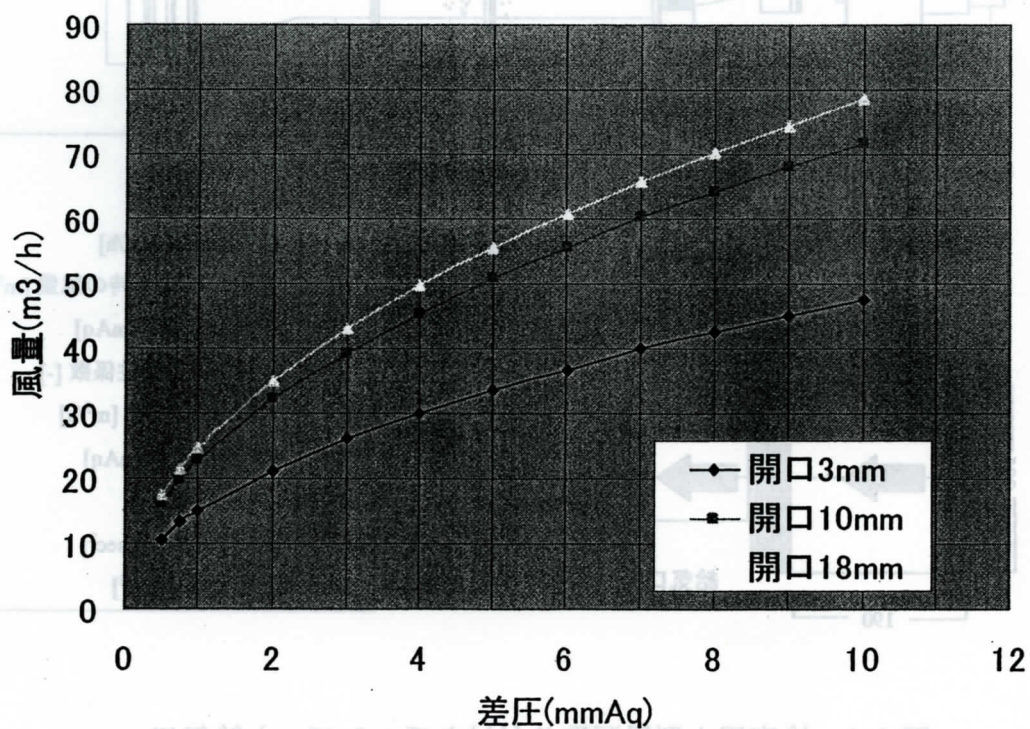


図 4-3 典型的な手動調整型給気口の通気性能

#### 4.3.2 風圧による通気量調整型給気口の特⼲

表 4-1 の 15 番の給気口は風圧による通気量調整型給気口である。外観を写真 4-3 に、外形寸法を図 4-4 に示す。給気口は、径 128mm の筒状のダクトとその中に取り付けられた羽根などから成る。ダクトの室内側に 4 枚の扇形の羽根が取り付けられており、ダクト内の風量が多くなるにつれて、風圧が高くなり、羽根は室内側に押され、ダクトを塞ぐようになり風量制御ができる。

給気口前後の差圧と通気風量の関係を図 4-5 に示す。

フィルターが付いている場合、通気風量は、差圧 5mmAq までゆるやかに上昇し、 $46\text{m}^3/\text{h}$  まで達するが、5mmAq を越えると上昇が止まる。その後  $36\text{m}^3/\text{h}$  まで減少し、その後横ばい状態になる。5mmAq から 7mmAq の区間では、通気風量が一時減少しているが、この間は給気口に内蔵されている羽根が振動しており、それが減少の原因と推定される。又、通気風量が 7mmAq からは横ばい状態になるが、これは風量が大きくなると羽根が給気ルーバー側に押さえられているためと推定される。

フィルターがない場合、通気風量はフィルターがある場合よりも小さい差圧で最大となり  $43\text{m}^3/\text{h}$  まで上昇し、その後  $35\text{m}^3/\text{h}$  まで減少する。差圧が 7mmAq からは横ばい状態で、フィルターがある場合と重なる。又、差圧が 4mmAq から 7mmAq の区間では、フィルターがある場合より通気風量は小さくなる。

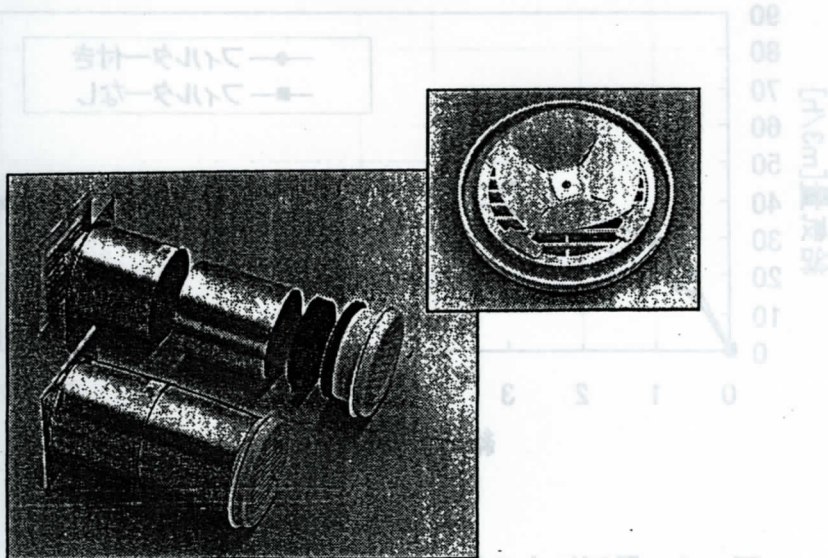


写真 4-3 風圧による通気量調整型給気口の外観



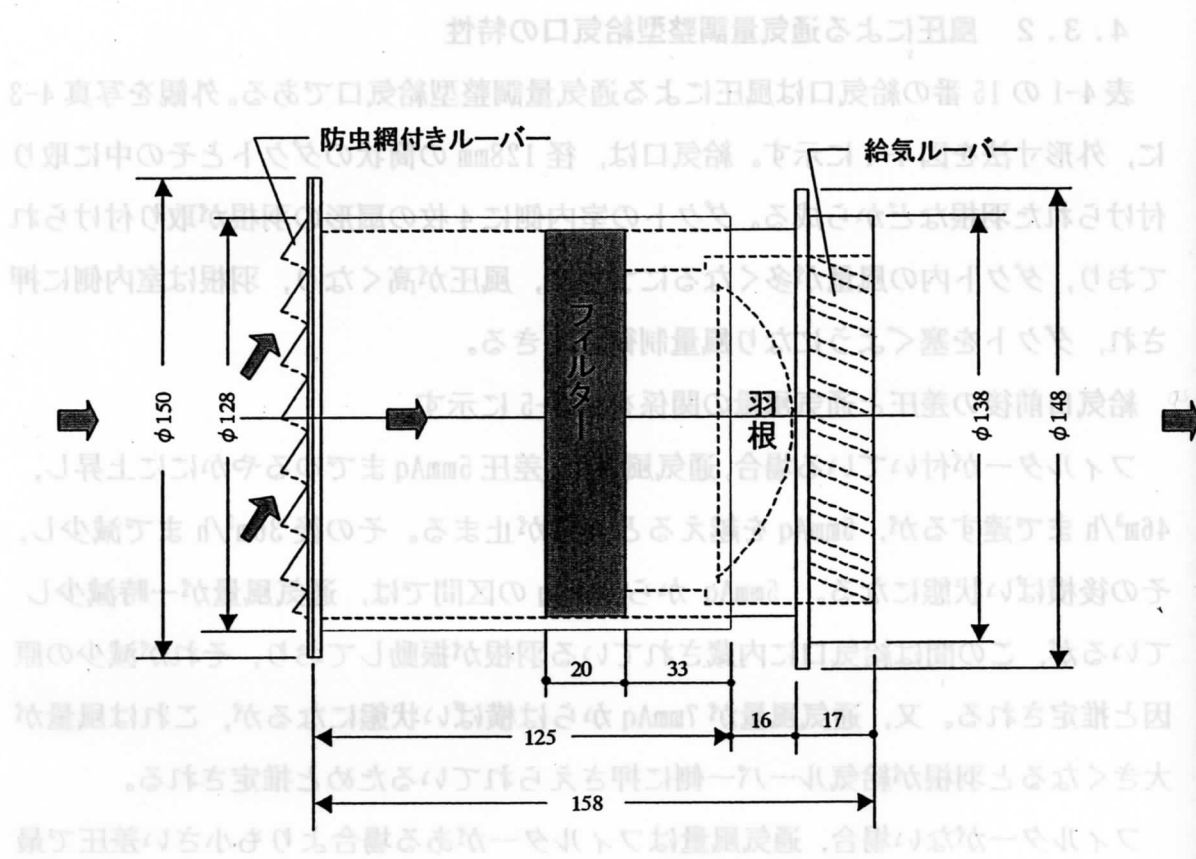


図 4-4 風圧による通気量調整型給気口の外形寸法

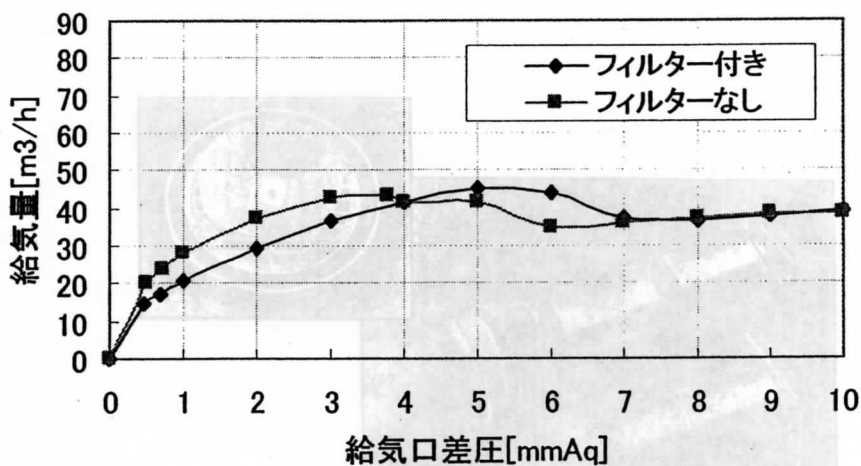


図 4-5 風圧による通気量調整型給気口の通気性能

### 4.3.3 外気温による通気量調整型給気口の特徴

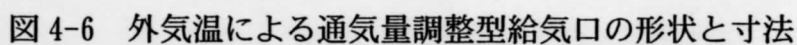
表 4-1 の 8 番の給気口は外気温による通気量調整型給気口である。形状と寸法を図 4-6 に示す。給気口は、径 100mm の筒状の外気側ユニットとその先端に取り付けられた室内側ユニットなどから成る。室内側ユニットにサーモ弁が取り付けられており、通過する空気の温度が 10℃を下回ると、ユニットの出口の隙間が絞られ、0℃を下回ると隙間が最小となる。

室内側及び外気側ユニットにフィルターがある場合の給気口前後の差圧と通気風量の関係を図 4-7 に示す。室内側ユニットにはフィルターがあるが、外気側ユニットにフィルターがない場合の給気口前後の差圧と通気風量の関係を図 4-8 に示す。

室内側及び外気側ユニットにフィルターがある場合(図 4-7)、給気口前後の差圧 1mmAq を見ると、通気風量は外気温 1℃で 12.6m<sup>3</sup>/h、3℃のときのみ 12.3 m<sup>3</sup>/h、5℃と 10℃は 12.6 m<sup>3</sup>/h、11.5℃は 12.7 m<sup>3</sup>/h である。通気風量は 3℃のときのみ僅かに小さいが、3℃以外では殆ど変わらない。又、外気温が 10℃以上の条件と 10℃以下の条件では殆ど差が見られない。これは、室内側ユニット出口の隙間の増減による抵抗の変化量に比べて、グリルから室内側ユニット迄の間の抵抗がかなり大きいためと推定される。

室内側ユニットにはフィルターがあるが、外気側ユニットにフィルターがない場合(図 4-8)には、差圧 1mmAq のときの通気風量は、外気温 1℃で 18.2m<sup>3</sup>/h、3℃は 19.3 m<sup>3</sup>/h、5℃は 19.6 m<sup>3</sup>/h、10℃は 20.6 m<sup>3</sup>/h、11.5℃は 21.6 m<sup>3</sup>/h となり、図 4-7 に比べると温度によって通気風量の差が明らかに現れた。

図 4-8 外気温による通気量調整型給気口の通気風量と差圧の関係



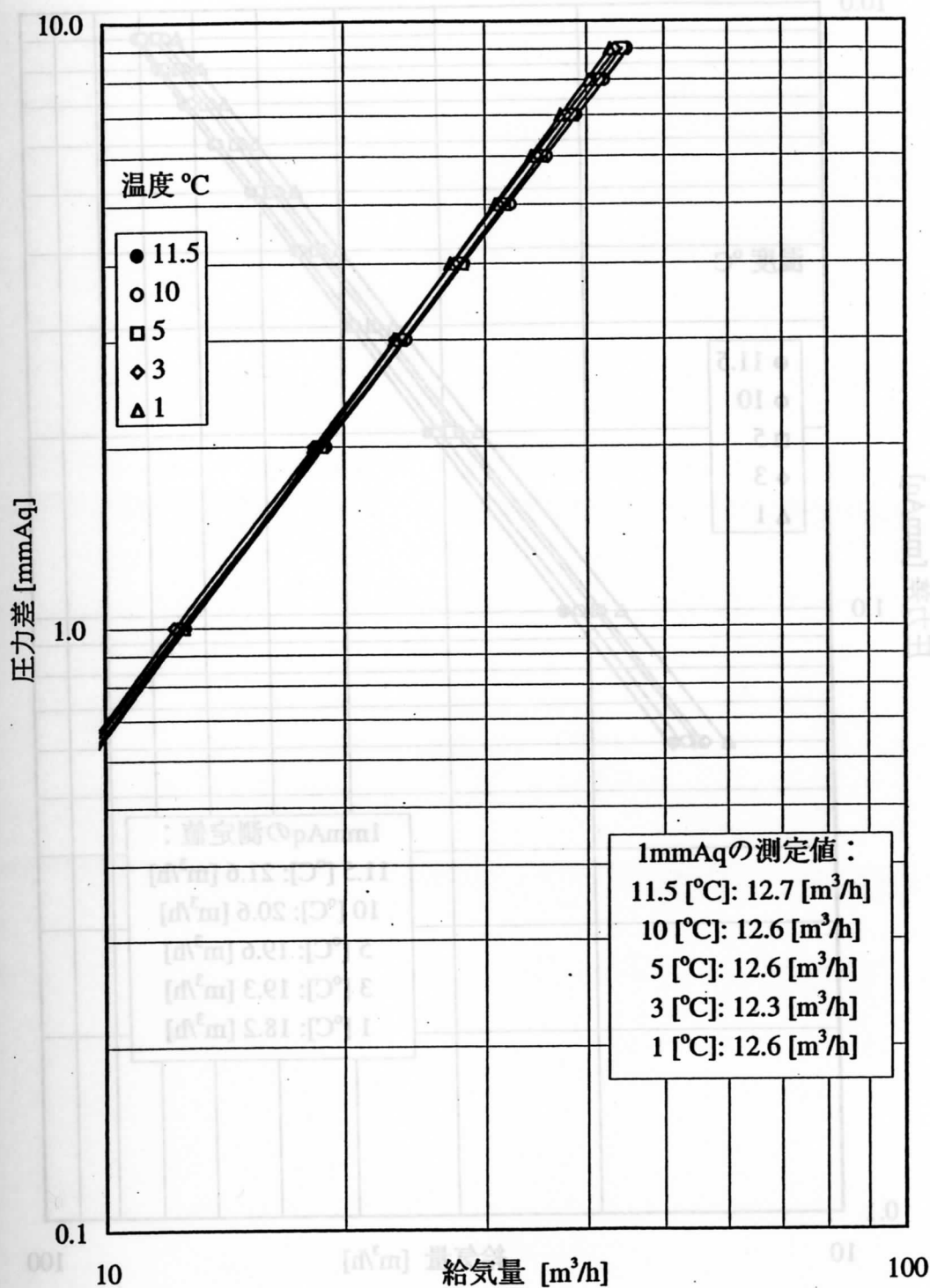


図 4-7 室内側及び外気側ユニットにフィルターがある場合の給気口の通気性能

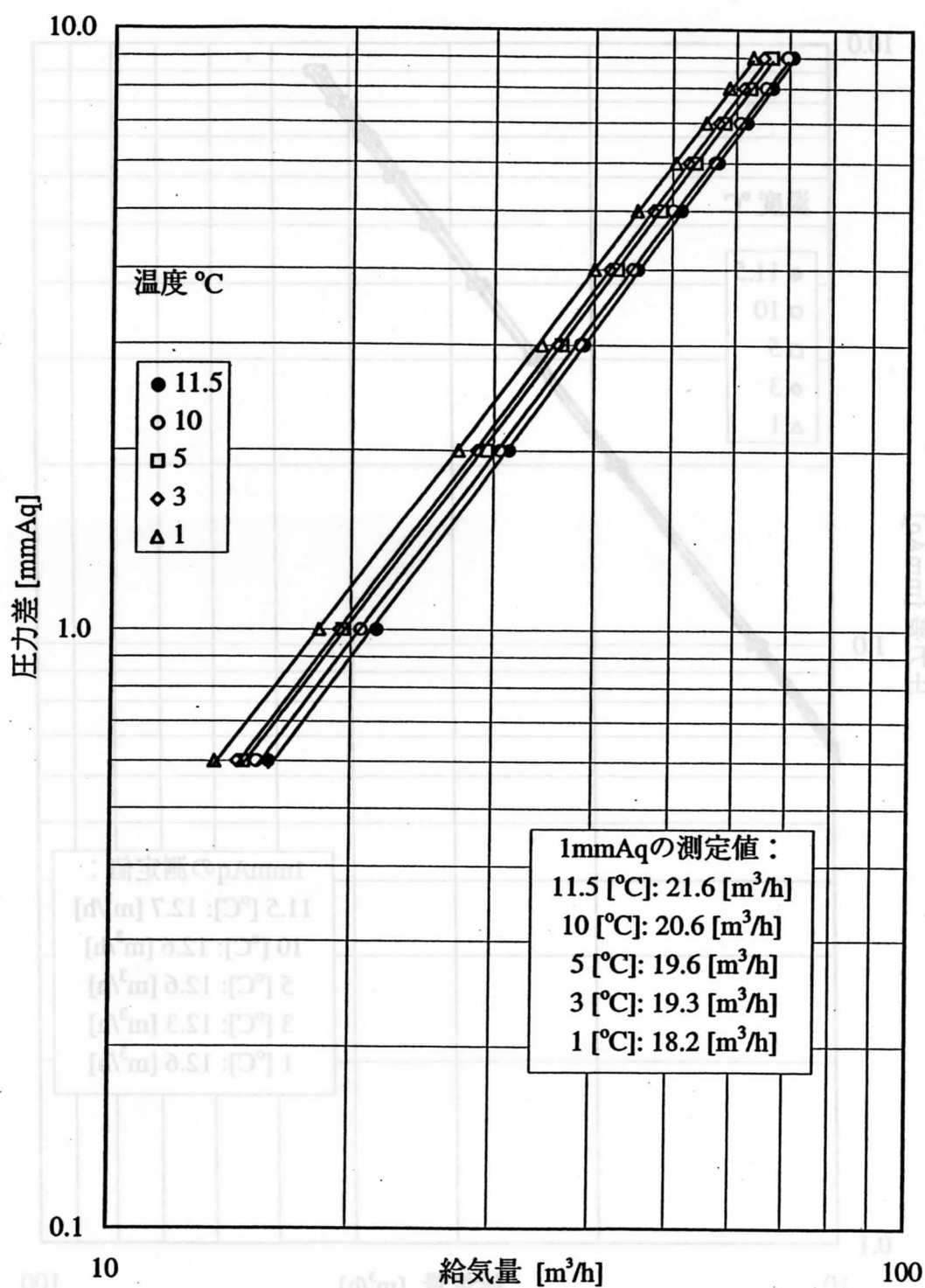


図 4-8 室内側ユニットにはフィルターがあるが外気側ユニットにフィルターがない場合の給気口の通気性能



#### 4.3.4 室内湿度による通気量調整型給気口の特性

表 4-1 の 17 番の給気口は室内湿度による通気量調整型給気口である。外観を写真 4-4 に、外形寸法を図 4-9 に示す。日常生活での水の使用や人の呼吸によって上昇する室内の相対湿度を、汚染状況のバロメーターとして給気口の開度を制御し、換気量を調整する。給気口の開度制御は室内の湿度に応じて伸縮するナイロンリボンを使用している。

相対湿度と給気口の通気風量の関係を図 4-10 に示す。給気口では 10Pa における通気風量が設計値とされており、それぞれの差圧における近似線を濃い実線で示した。10Pa のときの実験結果は、設計値に近い値を示しているのが分かる。

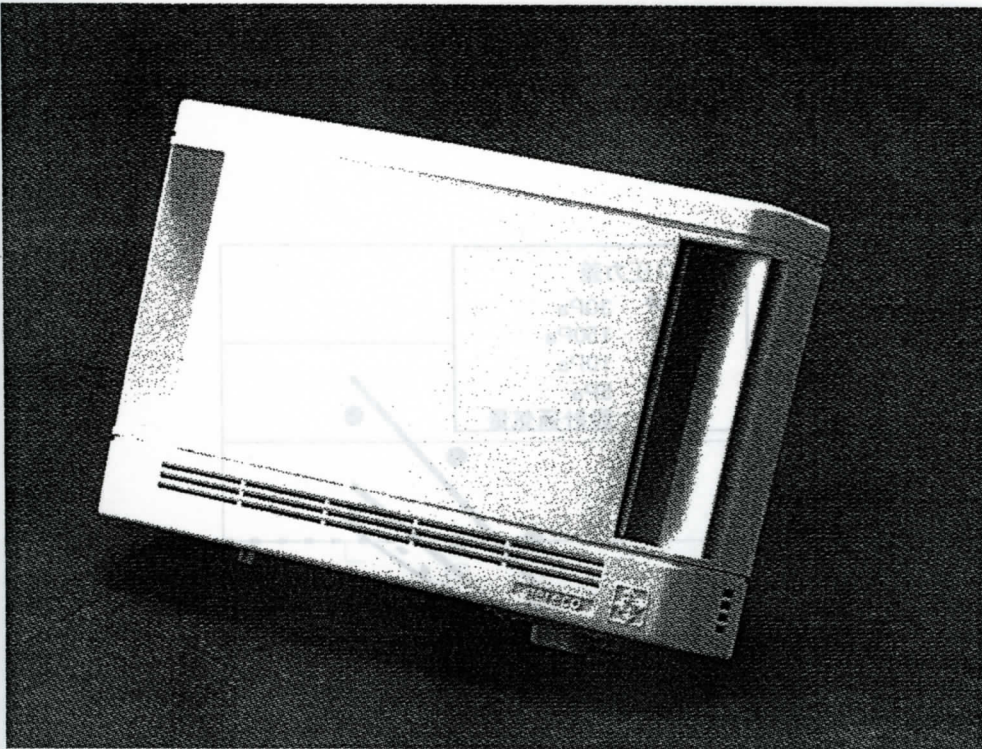


写真 4-4 室内湿度による通気量調整型給気口の外観



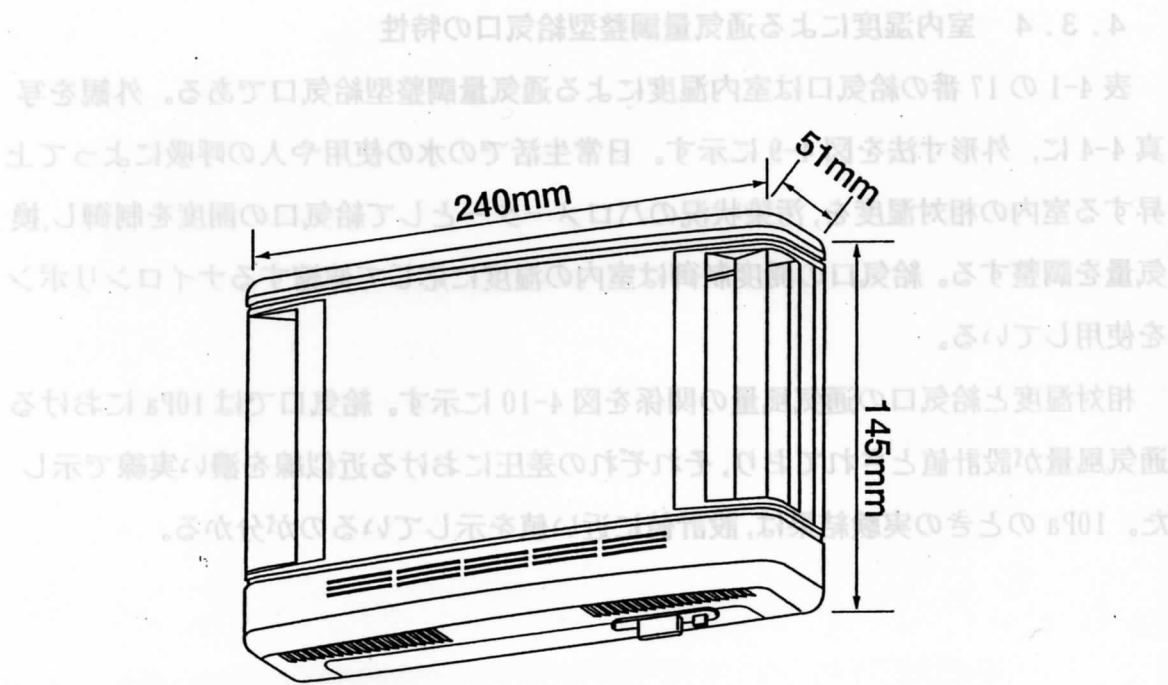


図 4-9 室内湿度による通気量調整型給気口の外形寸法

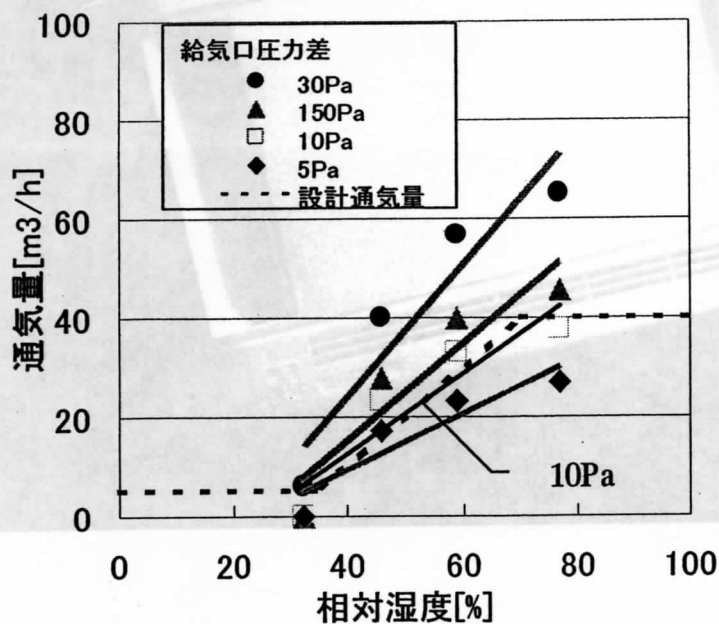


図 4-10 相対湿度と給気口の通気風量

#### 4.4 まとめ

本章では、現在住宅に使われている外壁用自然給気口を調査分類した。形状や、吹き出し方向、開口の調整方法、材質などの組み合わせて、いろいろな給気口があるが、冷気流侵入を防止できる給気口とは、簡単に言えず、給気口を使用する際に、冷気流侵入を防止するための工夫と配慮が必要である。

又、検定用小型風洞を用いて、典型的な給気口の通気性能を調べた。風圧による通気量調整型給気口は、風圧変動に対して安定した給気風量が得られる。外気温による通気量調整型給気口は、フィルターなどの抵抗が過大でない場合に、外気温に応じて給気量の調整が明らかに効果的である。室内湿度による通気量調整型給気口は、相対湿度に応じて、開口を制御し、通気量を調整することが確認した。

## 第5章 外壁給気口からの冷氣侵入による温度分布の形成機構に関する実験

アンケート調査、実住宅における現場実測により、暖房時において給気口からの冷氣侵入による温熱的な不快感の形成は、給気口の位置、給気の吹出し方向、給気量、室内外温度差、窓からのドラフトとの関係、暖房方式、室内の家具の配置との関係など、様々な因子と関わっており、極めて複雑である。従って、これらの因子との関係を明らかにすることが、不快感を生じない最適な給気方式を設計する上で必要であるが、十分な資料が整備されていないのが現状である。

そこで、本章では不快感が生じないための給気方式などに関する設計資料を整備することを目的とし、人工気候室内の実大居室の外壁に現在市販されている各種の給気口を設置し、給気口の形状、風量、設置位置、室内外温度差、暖房の設置位置などと室内温度分布との関係を明らかにしたので、その結果を報告する。なお、同様の実験は澤地ら<sup>3)</sup>が行っているが、本実験では室中央の空気温度を20℃一定となるように放熱パネルの流量を制御し、上下温度差などに着目して分析しており、また、給気機器の種類も豊富である。

### 5.1 実験室の概要

実験室は森永エンジニアリング(株)の仙台にある工場内にパネル工法で建てられ、外寸法は(6800W×6200D×5040H)である。

#### 5.1.1 人工気候室の概要と設備

人工気候室は図5-1に示したように外気室と隣室に分けられ、両室の間には扉が四つ設けられている。天井、床と外壁にはそれぞれ100mmのポリウレタン断熱が施されている。外気室の外壁に1つ、隣室の外壁に4つの通気口が設けられている。

空調設備については、外気室の天井に1台、隣室の天井に5台の冷凍機(1400kcal/h)が設置され、最大で-30℃まで空調可能である。また、隣室には暖房温水放熱パネルを設置することが可能である。

#### 5.1.2 実大居室の概要と設備

実大居室の略図を図5-2に示す。寸法は(4100W×4100D×2400H)であり、床下

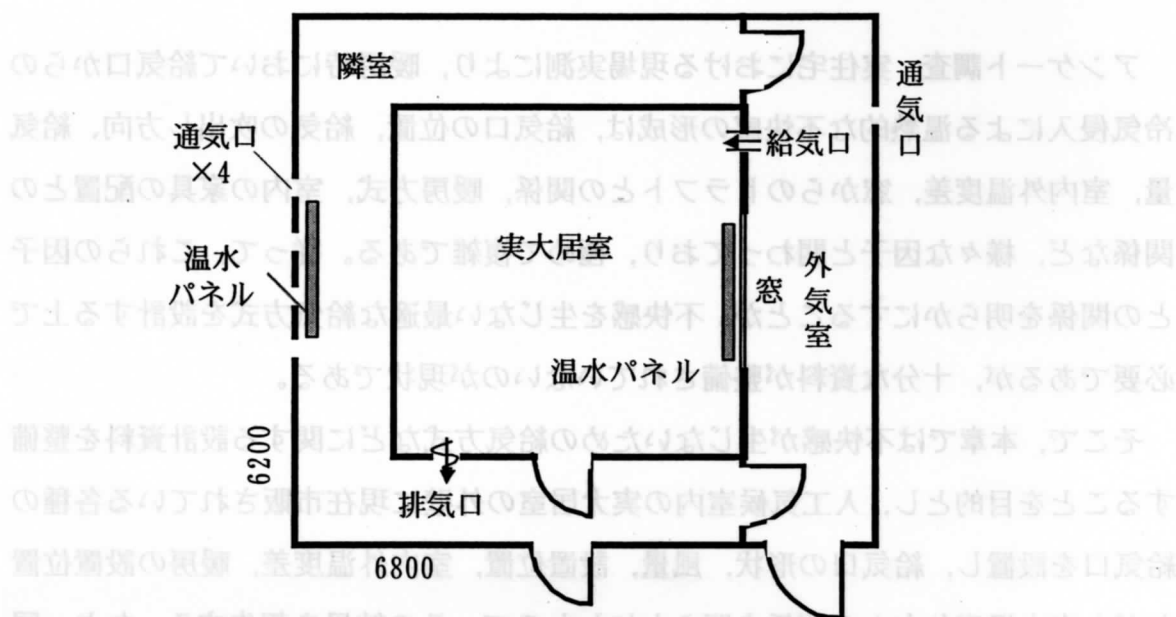


図 5-1 実験室の平面図

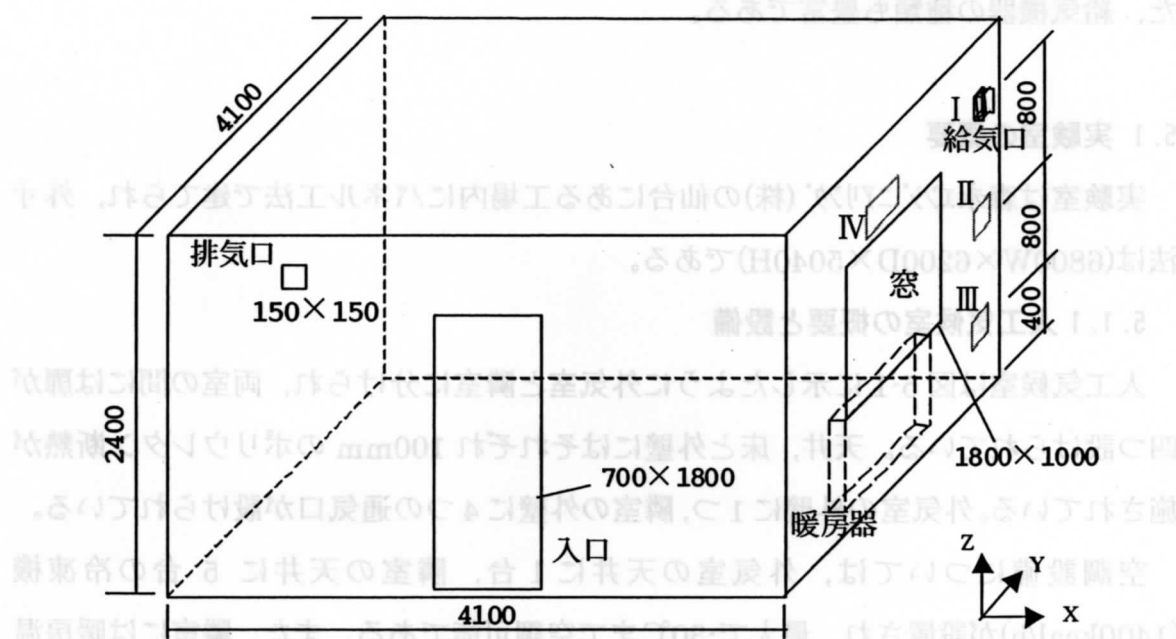


図 5-2 実大居室の略図

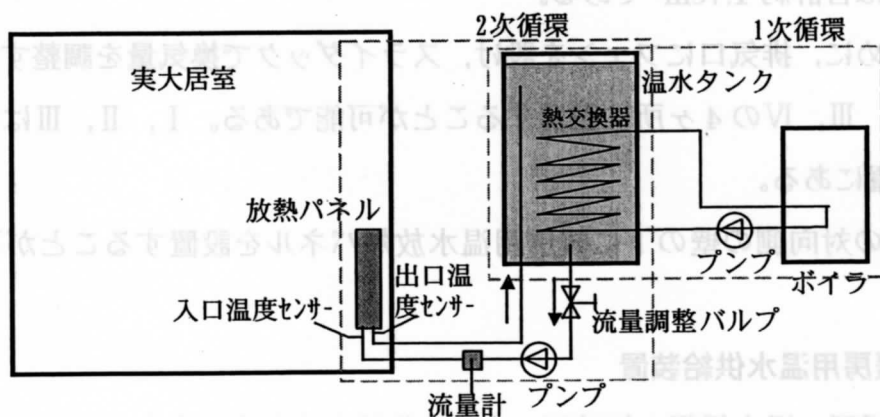


図 5-3 暖房温水循環の概略図

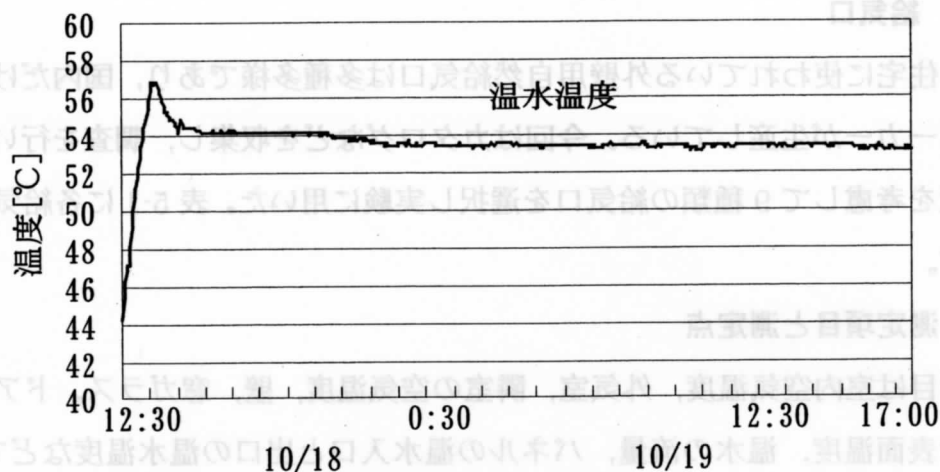


図 5-4 パネル入口温水温度変動図



には 700mm の空間が設けられている。天井、床と側壁にはそれぞれ 44mm のポリウレタン断熱材が施されている。居室の気密性能は減圧法により測定した結果、相当隙間面積は合計約 1.7cm<sup>2</sup>である。

換気のために、排気口にファンを設け、スライダックで換気量を調整する。給気口はⅠ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳの 4ヶ所に設置することが可能である。Ⅰ、Ⅱ、Ⅲは側壁から 20cm の位置にある。

窓下と窓の対向側の壁の下に暖房用温水放熱パネルを設置することが可能である。

### 5.1.3 暖房用温水供給装置

図 5-3 は暖房の温水循環の概略図である。供給温水温度を安定させるために 2 次循環装置を設けた。温水温度の調整はボイラの設定温度と 2 次循環装置の流量調整で行う。図 5-4 にはパネル入口の温水温度の変動を示すが、安定した後の変動幅は小さく、0.5℃以下である。

## 5.2 実験の概要

### 5.2.1 給気口

現在、住宅に使われている外壁用自然給気口は多種多様であり、国内だけでも数多くのメーカーが生産している。今回はカタログなどを収集し、調査を行い、給気口の形状を考慮して 9 種類の給気口を選択し実験に用いた。表 5-1 に各給気口の概要を示す。

### 5.2.2 測定項目と測定点

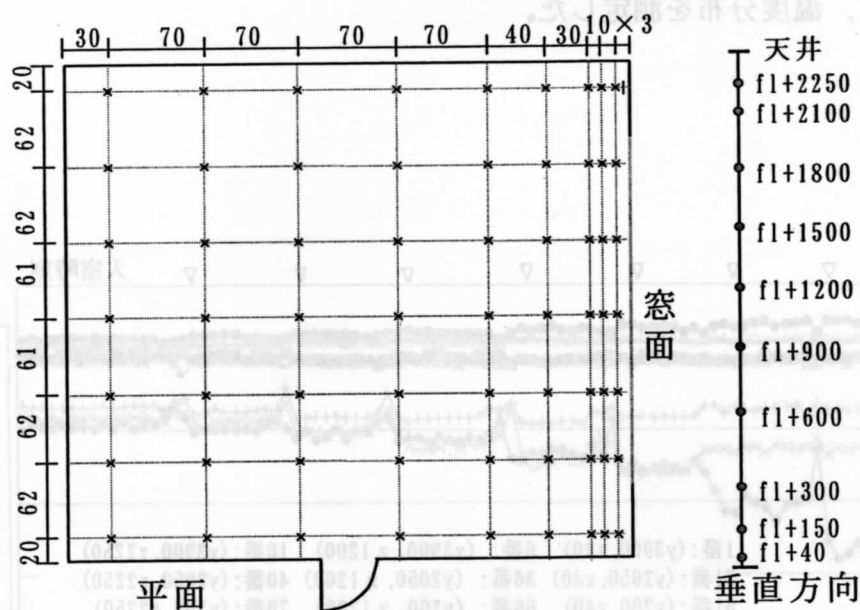
測定項目は室内空気温度、外気室、隣室の空気温度、壁、窓ガラス、ドア、放熱パネルの表面温度、温水の流量、パネルの温水入口と出口の温水温度などである。室内温度分布の測定点を図 5-5 に示す。水平面は 63 点、高さ方向は 10 点である。

### 5.2.3 実験の条件と実験ケース

実験のパラメータは給気口の位置、外気室温度、換気量、放熱器の位置である。これらを組み合わせて表 5-2 に示すように 11 の実験条件を設定した。居室の中央の温度を 20℃に設定し、隣室も同じく 20℃に設定した。

表 5-1 自然給気口の概要

記号	吹出し方向	寸法	材質	相当開口面積 $\text{cm}^2$	形状
A	上向き	$\Phi 150$	樹脂, 鋼板	13.9	丸型
B		$350 \times 90$	樹脂	21.5	
C	水平	$210 \times 160$	アルミ	59	角型
D		$402 \times 75$	樹脂	47.2	
E	放射状, 角度大	$\Phi 100$	樹脂	14	丸型
F	放射状, 角度小	$\Phi 100$	樹脂	8.3	
G	放射状, 壁と平行	$\Phi 100$	樹脂	16	
H	上下左右, 壁と平行	$150 \times 150$	樹脂	22.2	角型
I	上左右, 壁と平行	$150 \times 155$	樹脂	11.1	



実験は表 5-3 に示した通り、26 のケースで行い、条件④を基本条件とした。各パラメータの影響を検討するために、給気口 E に対しては、条件⑪を除くすべての条件で測定した。給気口の形状の違いによる影響を比較するため、各種の給気口を条件④で測定した。給気口の位置の影響を知るため、吹出し方向の異なる C と G を用いて条件⑧、⑨、⑩の実験を行った。

5.2.4 測定方法

温度は熱電対で、温水の流量はパルス流量センサーで測定し、データは3分毎にパソコンで収録する。

温度分布の測定のために、測定用枠を作り、その中に熱電対を固定し、1回でX断面の70点の空気温度を測定する。図5-6は入室作業の室内温度への影響を示す。次の位置に枠を移動するために、数十秒間入室するが、その後4~5分で安定する。安定した後の3分間のデータ(1分毎に測定)の平均値を分析に用いる。

冷氣侵入状況については、給気口を含めた垂直断面に専用の幕を張り、サーモカメラを用いて、温度分布を測定した。

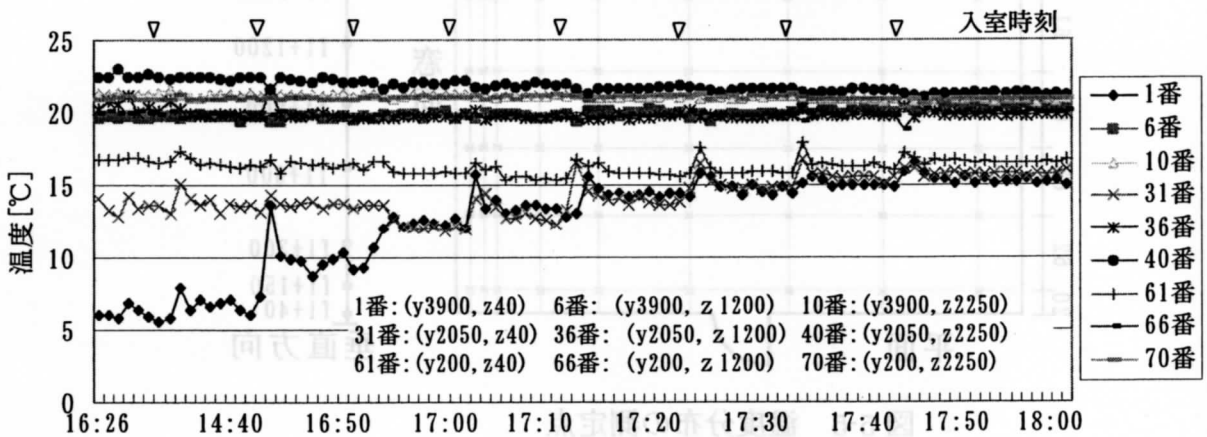


図 5-6 給入室作業の室内空気温への影響(条件⑨で給気口 E の場合)

表 5-2 実験条件

条件	放熱器 位置	給気口 位置	外気室 温度	給気量 m <sup>3</sup> /h
①	窓側（下部）	Ⅰ	-10℃	0
②				10
③				20
④				30
⑤	窓対向壁側(下部)		0℃	30
⑥			10℃	
⑦				
⑧			Ⅱ	
⑨	Ⅲ	-10℃		
⑩	Ⅳ			
⑪	窓対向壁側(下部)			

表 5-3 実験ケース

条件	給気口種類								
	A	B	C	D	E	F	G	H	G
①					○				
②					○				
③					○				
④	○		○		○	○	○	○	○
⑤					○				
⑥					○				
⑦					○				
⑧			○		○		○		
⑨			○		○		○		
⑩		○	○	○	○	○	○		
⑪				○					

注 実験番号は条件と給気口の記号を組合わせて、  
例えば、条件①で給気口Eの場合はCASE1-Eとし  
て示した。

### 5.3 測定結果

#### 5.3.1 温度分布の測定結果

図 5-7～図 5-14 に例として典型的なケースの Y 断面温度分布を示す。

(1) 条件①の場合(外気室温・10℃，給気量 0，図 5-7)

給気口を閉じ，換気ファンの運転を停止しているため，室内温度分布が小さい。

(2) 条件④で給気口 C，E，G を用いた場合(外気室温・10℃，給気量 30m<sup>3</sup>/h，給気口位置 I，放熱パネル位置は窓下)

給気口の種類は異なるが実験条件は同じである。図 5-8，図 5-9，図 5-10 の温度分布から，室中心部に向けての冷気流の侵入が給気口 C，E，G の順に弱まっていくことが判る。即ち，水平に吹出す形式 C の方が最も強く，壁面と平行に吹出す形式 G の方が確認できない程弱い。

(3) 条件⑦で給気口 E を用いた場合(外気室温・10℃，給気量 30m<sup>3</sup>/h，給気口位置 I)

Y3.9m 断面の温度分布を図 5-11 に示す。放熱パネルが窓の対向壁側に設置されているが，窓下に設置した CASE4-E(図 5-9)と比較すると，温度分布はほとんど変わらない。

(4) 条件⑧，⑨，⑩で給気口 E を用いた場合(外気室温・10℃，給気量 30m<sup>3</sup>/h，放熱パネル位置は窓下)

同じ給気口を用いているが給気口の位置が異なる。条件⑧では，給気口が壁の高さの中央に設けられている，Y3.9m 断面の温度分布を図 5-12 に示す。給気口から流入した冷気は室の中央下部に広がり，上部の温度は約 20℃であるが，床面近くは 16℃ぐらいと低い。図 5-13 は給気口が壁の下部に設けられた場合(CASE9-E)である。冷気が流入して床上に滞留し，床付近の温度は約 14℃と非常に低い。図 5-14 は給気口が窓上の壁面に設けられた場合(CASE10-E)であるが，上下温度分布はほとんどない。流入した冷気はパネルラジエーターによって暖められたためと推察できる。

#### 5.3.2 熱画像による冷気侵入の測定結果

各ケースの熱画像による冷気侵入の測定結果を第 5 章附録に示す。



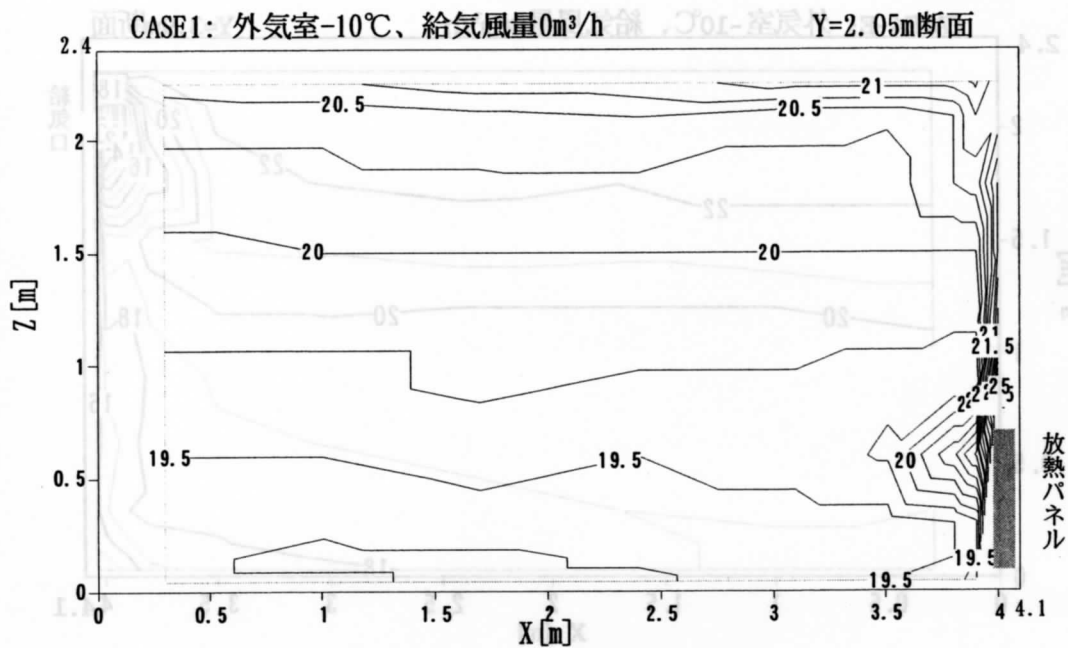


図 5-7 条件①の場合の Y2.05m 断面の温度分布

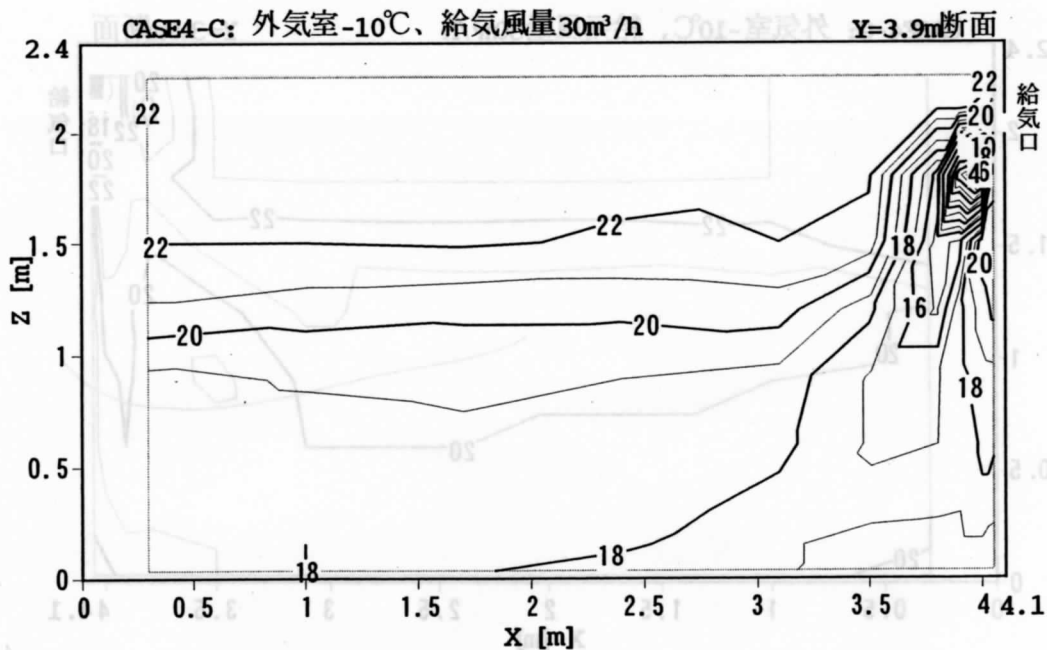


図 5-8 条件④で給気口 C の場合の Y3.9m 断面の温度分布

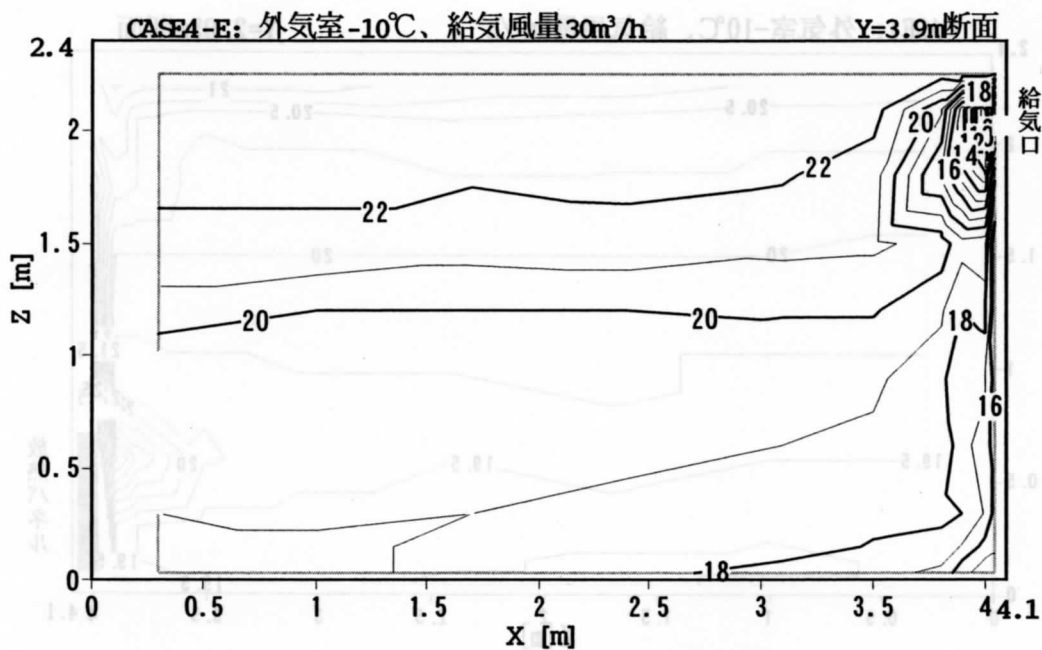


図 5-9 条件④で給気口 E の場合の Y3.9m 断面の温度分布

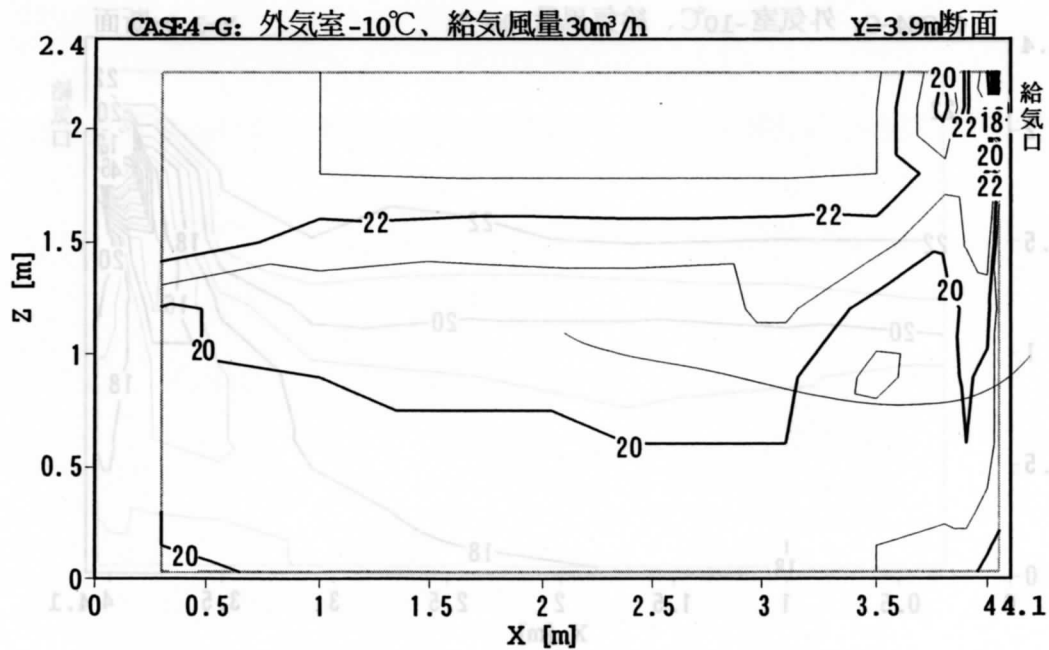


図 5-10 条件④で給気口 G の場合の Y3.9m 断面の温度分布

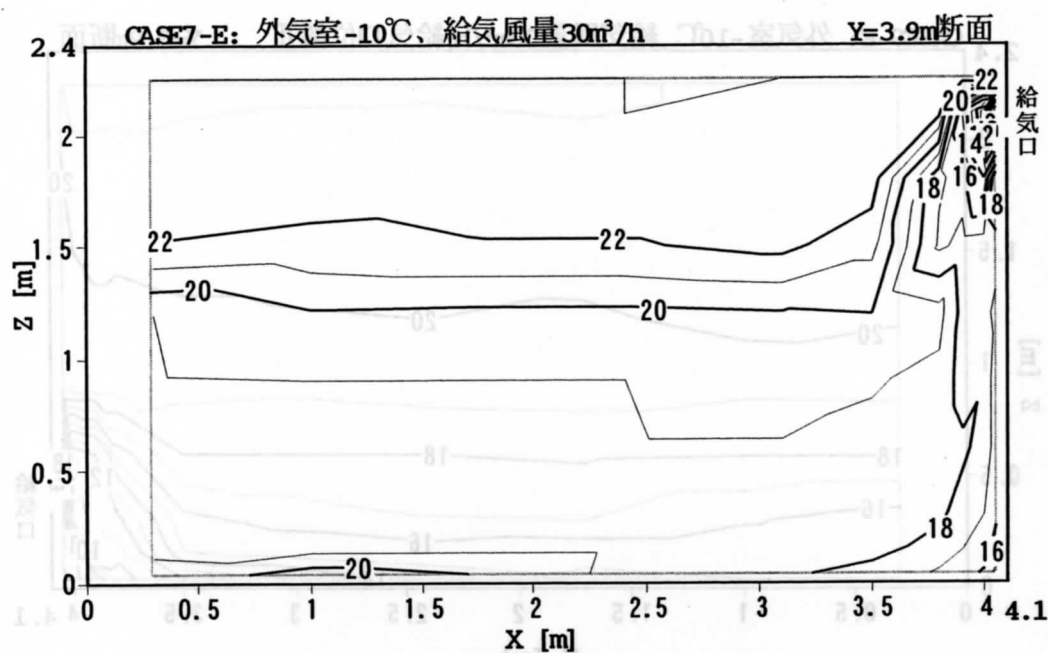


図 5-11 条件⑦で給気口 E の場合の Y3.9m 断面の温度分布

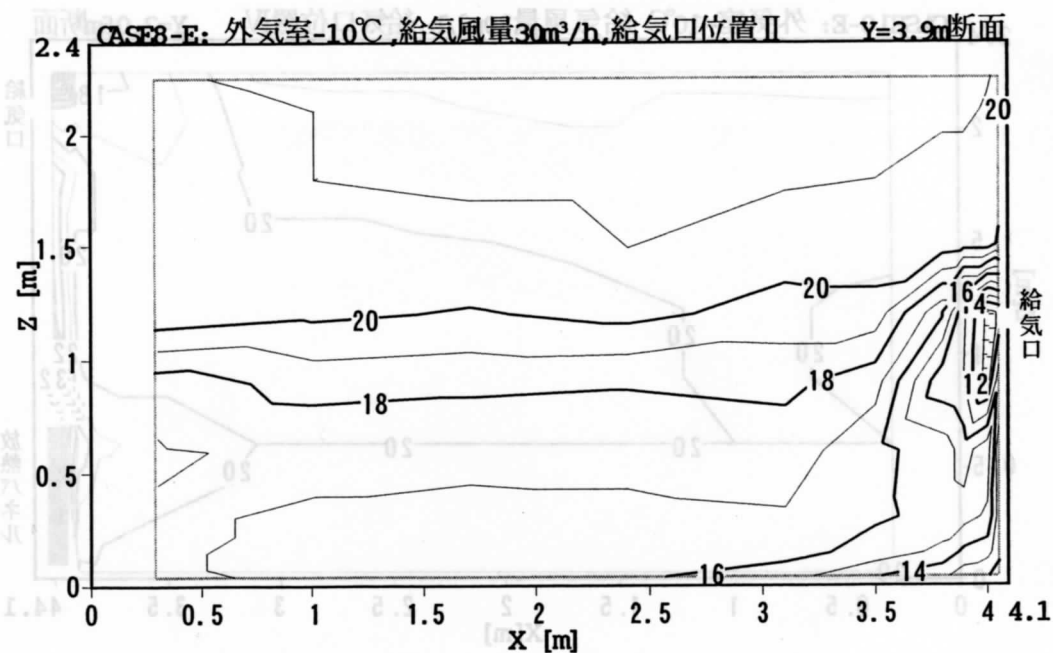


図 5-12 条件⑧で給気口 E の場合の Y3.9m 断面の温度分布

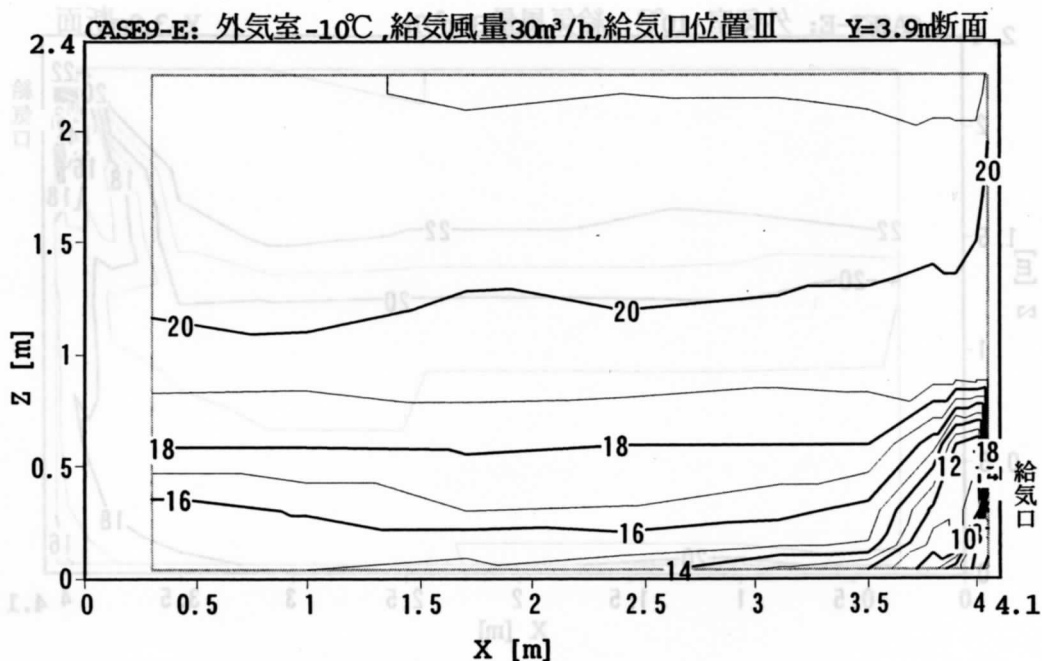


図 5-13 条件⑨で給気口 E の場合の Y3.9m 断面の温度分布

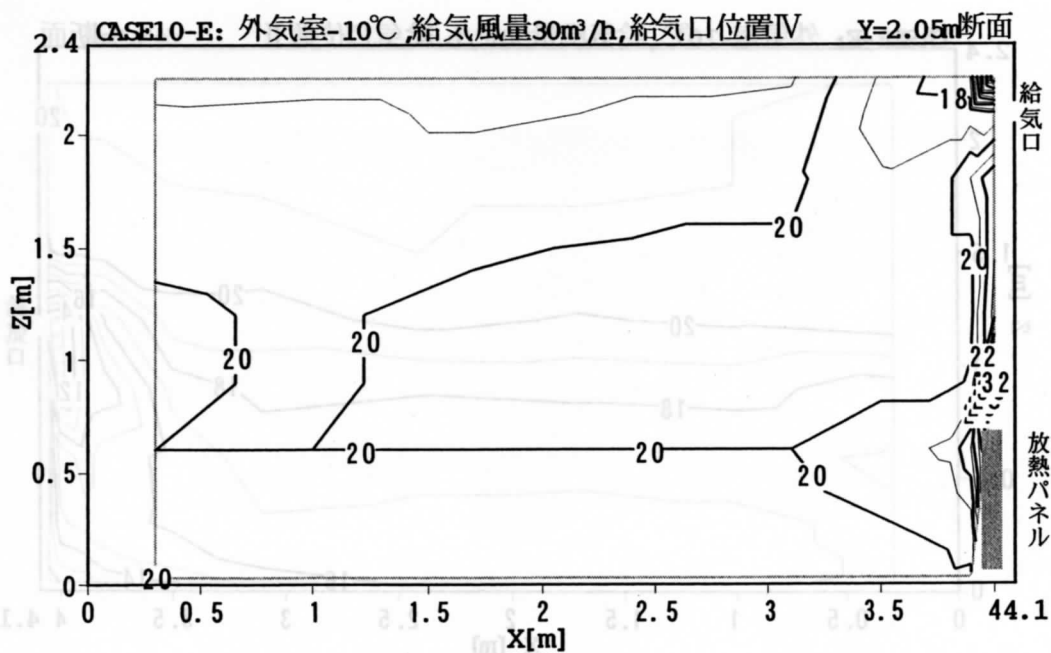


図 5-14 条件⑩で給気口 E の場合の Y2.05m 断面の温度分布

5.4 室内温度分布の評価指標

室内で発生する温度分布に関して、本論文では以下の2つの指標で評価する。

(1) 規準化上下温度差  $T_{cf}$

$T_{cf} = (T_c - T_f) / (T_m - T_o)$  .....(5.4.1)

ここに、

$T_c$  : 天井下 150mm 位置の平均温度 [°C]

(測定点 63 点の平均)

$T_f$  : 床上 40mm 位置の平均温度 [°C]

$T_m$  : 室内平均温度(全測定点の平均) [°C]

$T_o$  : 外気温度 [°C]

(2) 温度分布の不均一性指標  $T_d$

室中央の温度制御点に対して室内温度形成の不均一性を式(5.4.2)で評価する。

$T_d = (T_m - T_o) \times 100$  .....(5.4.2)

ここに、 $t_i$  : 測定点温度 [°C]

$t_c$  : 室中央の制御点温度 [°C]

$W$  : 室の居住域部分の容積 [m³]

$w_i$  :  $i$  点の代表する空間容積 [m³]

5.5 実験結果の分析

5.5.1 給気口の吹出し方向の影響

図 5-15 に示す通り、給気口の吹出し方向は「上向き」、「壁面と平行に放射状」、「壁面とある角度で放射状」、「水平に吹出す」の順に上下温度差が大きくなる。最大規準化上下温度差は約 0.3 である。条件④において、上向きに吹出す形式の給気口 A の場合、上下温度差は室内外温度差の 0.084 倍であるが、水平に吹出す形式の給気口 G の場合、上下温度差は室内外温度差の 0.165 倍と大きい。従って、換気設計する際に、給気口を放熱パネルの上部に設置する(条件⑩)ことができない場合は、水平に吹出す形式あるいは壁面と大角度で放射状に吹出す形式の給気口は避けるべきである。



温度分布の不均一性に対して、給気口の吹出し方向の影響は規準化上下温度差とはほぼ同じであるが、壁面と平行に放射状に吹出す形式の給気口の指標  $T_d$  値は相対的に大きく、条件⑨の場合は 8 と高い。それは水平面の温度分布が大きいからであると推察される。

### 5.5.2 給気口の設置位置の影響

図 5-15 の条件④, ⑧, ⑨, ⑩は給気口の設置位置が異なる。放熱パネルを窓下に、給気口を窓上の壁面に設置した場合(条件⑩), どの種類の給気口でも、規準化上下温度差は約 0.07 以下と小さく、平均値は 0.05 である。

給気口を壁面の上部(条件④), 中部(条件⑧), 下部(条件⑨)に設置した場合、平均規準化上下温度差  $T_{cf}$  と温度分布の不均一性指標  $T_d$  はこの順に大きく、それぞれ 0.12, 0.2, 0.27, と 5.2, 7.4, 8 である。

### 5.5.3 放熱パネルの設置位置の影響

条件⑦, ⑪は放熱パネルを窓の対向壁に設置したケースで、図 5-16 に給気口 D, 給気口 E を用いた場合の放熱パネルの設置位置の影響を示す。窓上の壁面に設置した給気口 D の場合、放熱パネルが窓の対向壁に設置した時と窓下に設置した時と比べると、規準化上下温度差  $T_{cf}$  は前者の方が大きくなっている。また、窓の脇の上部に設置した給気口 E の場合は、放熱パネルを窓の対向壁に設けた場合と変わらない。これは給気口と放熱パネルの設置位置が離れた場合には、放熱パネルの影響が給気にほとんど及ばないからである。

### 5.5.4 吹出し風速と上下温度差

規準化上下温度差  $T_{cf}$  と給気口の吹出し風速との関係を図 5-17 に示す。吹出し風速は給気量と相当開口面積\*から計算した。

\* 検定用風洞を用いて通気特性を調べ、 $\Delta p=9.8\text{Pa}$  時のデータを用いて次式で相当開口面積を計算した。

$$Q = 0.36\alpha A \sqrt{\frac{2}{\rho}\Delta P} \quad Q: \text{通気量}[\text{m}^3/\text{h}]$$

$\rho$ : 空気の密度 $[\text{kg}/\text{m}^3]$ ,  $\Delta p$ : 差圧 $[\text{Pa}]$ ,  $\alpha A$ : 相当開口面積 $[\text{cm}^2]$

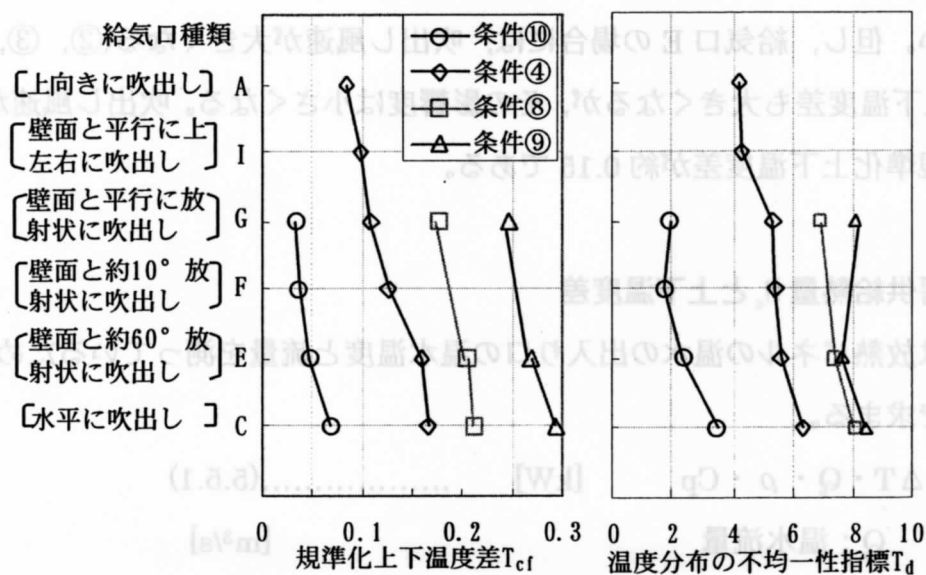


図 5-15 給気口の吹出し方向と温度分布

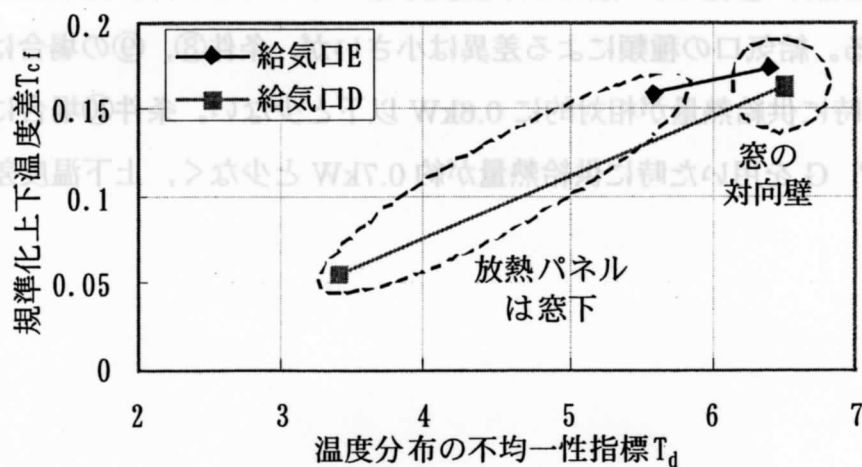


図 5-16 放熱パネルの設置位置の影響

図 5-17 に示す通り、実験条件、給気口の種類により、上下温度差が大きくばらついているが、全般的にみると給気口の吹出し風速が上下温度差に及ぼす影響は非常に小さい。但し、給気口 E の場合には、吹出し風速が大きくなる(②, ③, ④)に従って、上下温度差も大きくなるが、その影響度は小さくなる。吹出し風速が 4m/s の時に、規準化上下温度差が約 0.15 である。

#### 5.5.5 暖房供給熱量 $H_c$ と上下温度差

本実験は放熱パネルの温水の出入り口の温水温度と流量を測っているため、放熱量は次式で求まる。

$$H_c = \Delta T \cdot Q \cdot \rho \cdot C_p \quad [\text{kW}] \quad \dots\dots\dots(5.5.1)$$

ここに、 $Q$  : 温水流量  $[\text{m}^3/\text{s}]$

$\Delta T$  : パネルの出入り口の温度差  $[\text{℃}]$

$\rho$  : 水の密度  $[\text{kg}/\text{m}^3]$

$C_p$  : 水の比熱  $[\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{℃}]$

式(5.5.1)を用いて各ケースの暖房供給熱量  $H_c$  を計算した結果を図 5-18 に示す。

条件①, ②, ③, ⑤, ⑥を除いて、給気口の設置位置の違いにより、条件⑨(下部), ⑧(中部), ④(上部), ⑩(窓上)の順に上下温度分布が小さくなり、供給熱量が大きくなる傾向がある。給気口の種類による差異は小さいが、条件⑧, ⑨の場合は、給気口 C を用いた時に供給熱量が相対的に 0.6kW 以下と少ない。条件⑩場合には、給気口 D, E, F, G を用いた時に供給熱量が約 0.7kW と少なく、上下温度差も小さい。

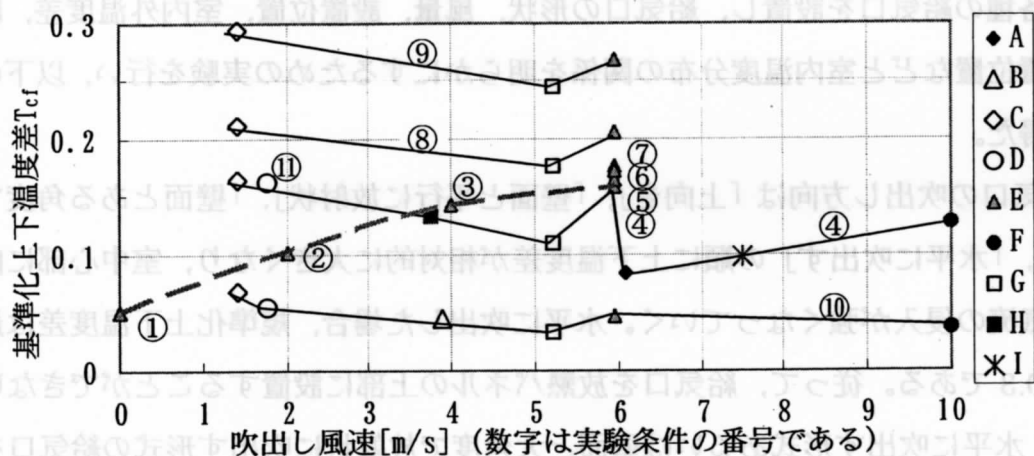


図 5-17 給気口の吹出し風速と規準化上下温度差

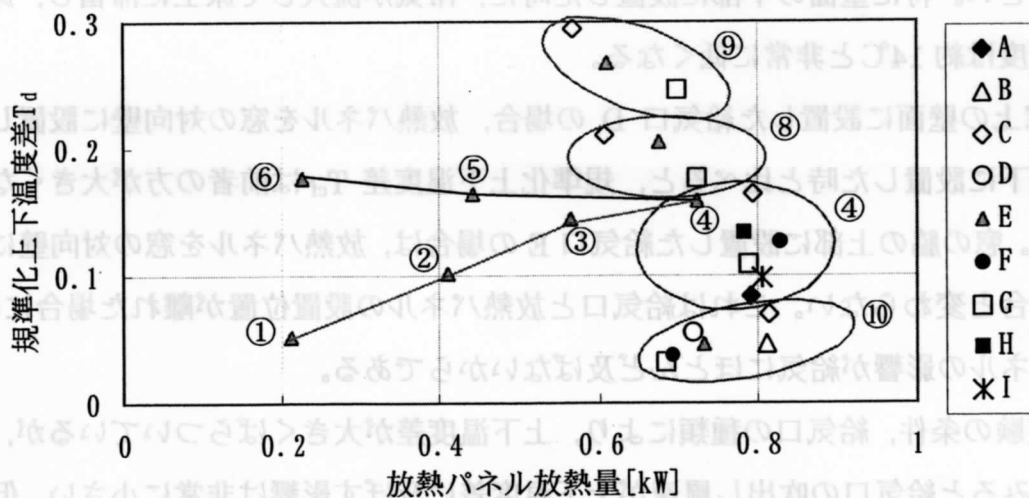


図 5-18 放熱パネルの放熱量と上下温度差

## 5.6 まとめ

市販されている各種の給気口の実状を踏まえた上で、人工気候室内の実大居室の外壁に各種の給気口を設置し、給気口の形状、風量、設置位置、室内外温度差、暖房の設置位置などと室内温度分布の関係を明らかにするための実験を行い、以下の結果を得た。

(1)給気口の吹出し方向は「上向き」、「壁面と平行に放射状」、「壁面とある角度で放射状」、「水平に吹出す」の順に上下温度差が相対的に大きくなり、室中心部に向けて冷気流の侵入が強くなっていく。水平に吹出した場合、規準化上下温度差は最大で約 0.3 である。従って、給気口を放熱パネルの上部に設置することができない場合は、水平に吹出す形式あるいは壁面と大角度で放射状に吹出す形式の給気口を避けるべきである。

(2)放熱パネルを窓下に、給気口を窓上の壁面に設置した場合、どの種類の給気口でも、規準化上下温度差は約 0.07 以下と小さい。給気口を壁面の上部、中部、下部に設置した場合、平均規準化上下温度差  $T_{cf}$  と温度分布の不均一性指標  $T_d$  はこの順に大きい。特に壁面の下部に設置した時に、冷気が流入して床上に滞留し、床付近の温度は約 14℃ と非常に低くなる。

(3)窓上の壁面に設置した給気口 D の場合、放熱パネルを窓の対向壁に設置した時と窓下に設置した時と比べると、規準化上下温度差  $T_{cf}$  は前者の方が大きくなっている。窓の脇の上部に設置した給気口 E の場合は、放熱パネルを窓の対向壁に設けた場合と変わらない。これは給気口と放熱パネルの設置位置が離れた場合には、放熱パネルの影響が給気にほとんど及ばないからである。

(4)実験の条件、給気口の種類により、上下温度差が大きくばらついているが、一般的にみると給気口の吹出し風速が上下温度差に及ぼす影響は非常に小さい。但し、給気口 E のみ着目すれば、吹出し風速が大きくなるに従って、上下温度差への影響は大きくなるが、その影響度が小さくなる。吹出し風速が 4m/s の時に、規準化上下温度差が約 0.15 である。

(5)給気口の設置位置の違いにより、供給熱量が下部、中部、上部、窓上の順に大きくなる傾向があり、上下温度分布は小さくなる。



## 第5章 参考文献

- 1) 李振海・吉野博：東北地方を中心とした戸建て住宅の換気システム並びに外壁給気口の熱環境に及ぼす影響に関するアンケート調査，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 I(平成 10)， pp.53～56
- 2) 李振海・吉野博：戸建て住宅における外壁給気口の熱環境に及ぼす影響に関するアンケート調査，空気調和・衛生工学会論文集，No.77， pp.109～115
- 3) 瀬戸裕直・小澤元毅・澤地孝男ら：住宅換気システムの温熱性能評価に関する研究 その 2 自然給気口，内外温度差，給気量を実験条件とする室内温熱環境実測，日本建築学会学術講演梗概集，1995.9， pp.77～78
- 4) 李振海・吉野博，内海康雄，小林仁，阪場行男，武舎憲功，岩井信行：外壁給気口からの冷氣による温熱不快感の形成機構の解明とその防除に関する研究 その 1 実験室の概要と室内温度分布の測定，日本建築学会東北支部研究報告集，2000.6， pp.245～248
- 5) 李振海，吉野博，内海康雄，小林仁，阪場行男，武舎憲功，岩井信行：外壁給気口からの外気導入による室内温度分布の形成に関する実験的研究，日本建築学会学術講演梗概集，2000.9

## 第5章附録 各ケースの熱画像による測定結果

植文吉 章 3 第

冷氣侵入状況を把握するため、サーモカメラを用いて、給気口を含めた断面の温度分布を測定した。その結果を附図 5-1 から附図 5-14 に示す。

学会工学主計・時間及空、査調イーでくてもて関コ響温す知気コ東熱の口及給

83~88.pq (01 知平)I 東文館前編会高編計

も関コ響温す知気コ東熱の口及給壁れるもはコ空升丁風戸：制理吉・前編幸 (2)

811~801.pq, 77, No.77, 東文館会工学主計・時間及空、査調イーでくてもて

るも関コ響温す知気コ東熱の口及給壁れるもはコ空升丁風戸：制理吉・前編幸 (3)

実和東熱断内定るすも升条録実き量及給、差実断内、口及給熱自の予、究研

断、日本建築学会学術論文集、1985.9, pp.77~78

断型機：行計共岩、点家含気、畏行断内、小林二、断東断内、制理吉・前編幸 (4)

予、究研るも関コ響温す知気コ東熱の口及給壁れるもはコ空升丁風戸：制理吉・前編幸 (5)

の1実和東熱断内定るすも升条録実き量及給、差実断内、口及給熱自の予、究研

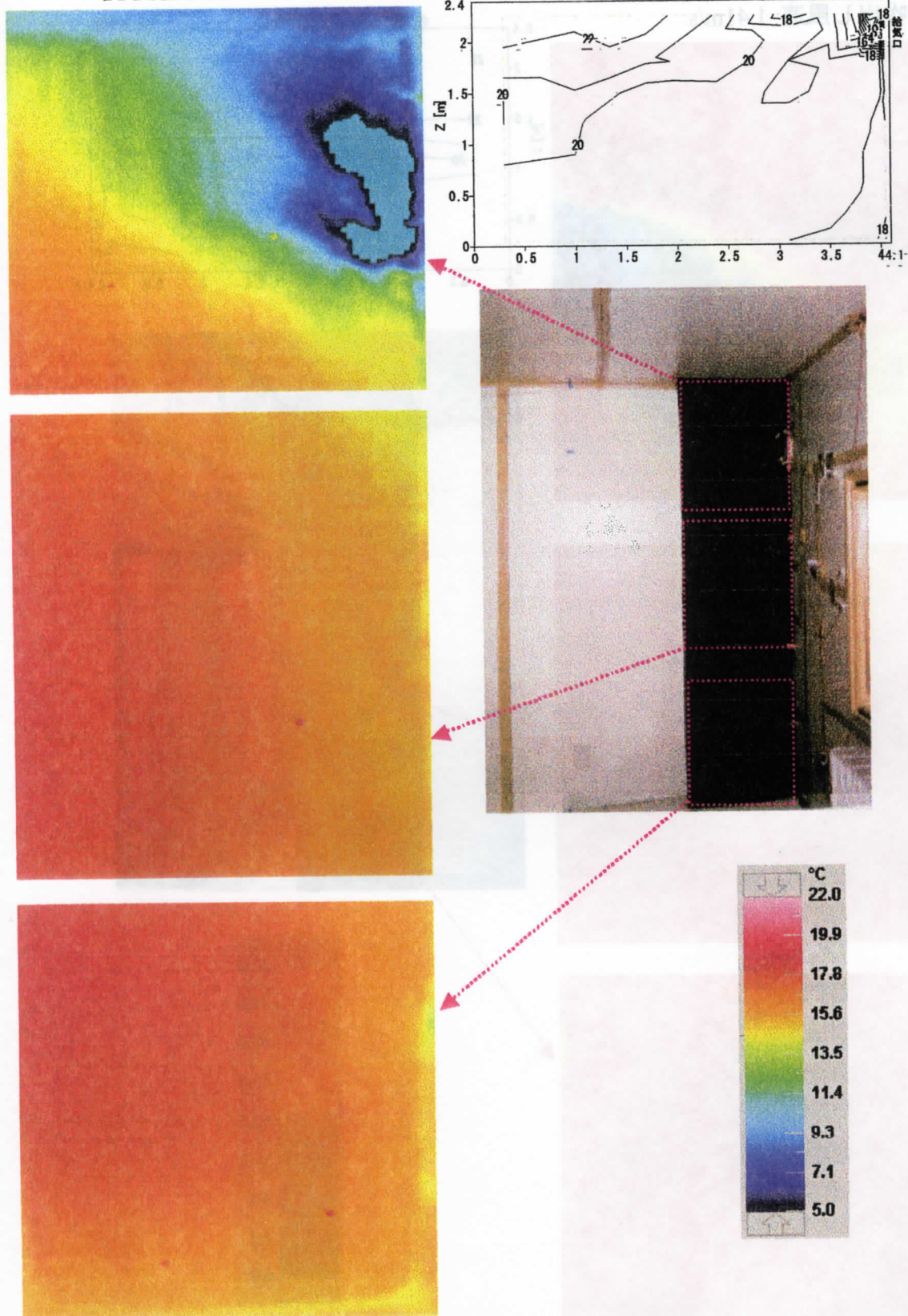
2000.6, pp.245~248

断型機：行計共岩、点家含気、畏行断内、小林二、断東断内、制理吉・前編幸 (6)

予、究研るも関コ響温す知気コ東熱の口及給壁れるもはコ空升丁風戸：制理吉・前編幸 (7)

2000.9, 東文館前編会高編計

# CASE4-A

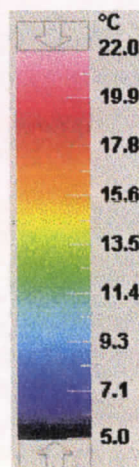
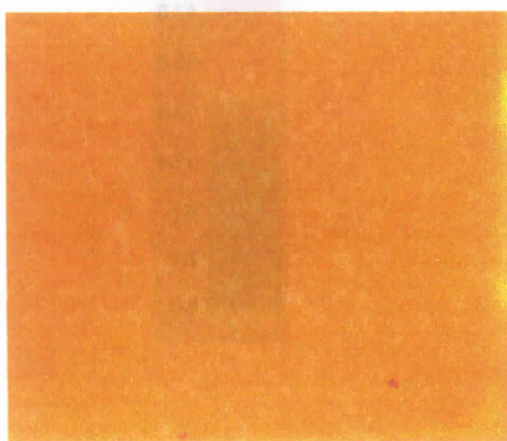
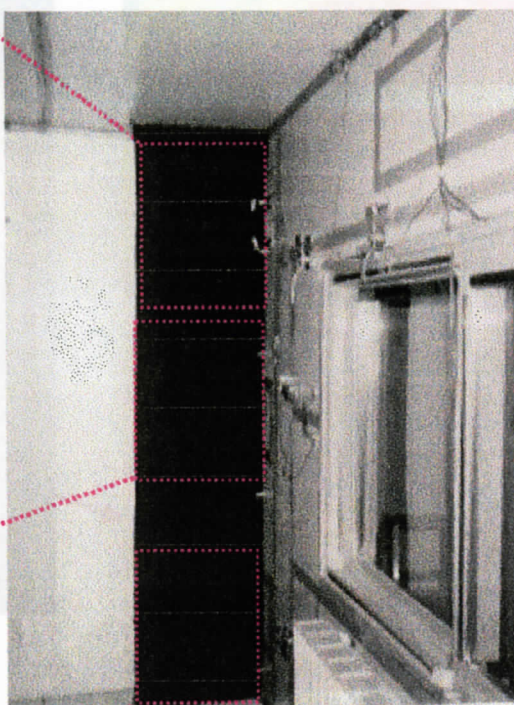
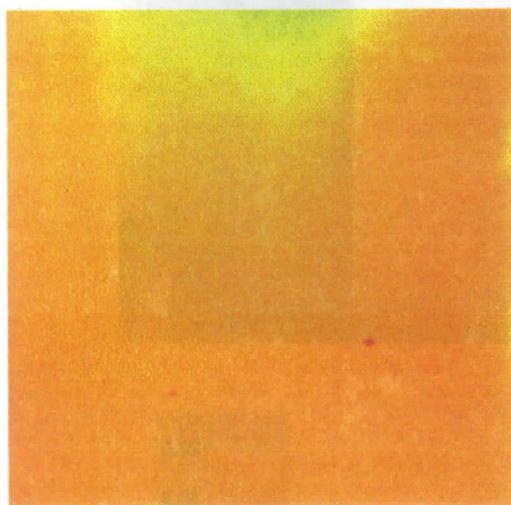
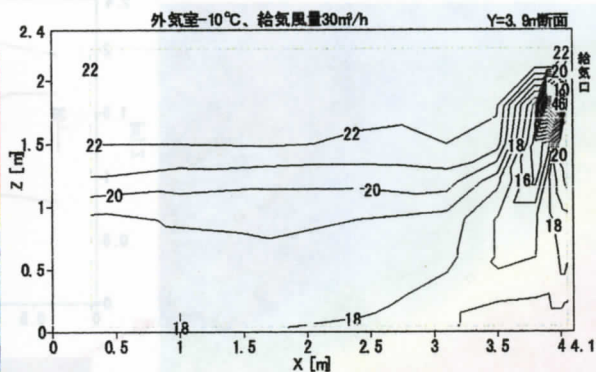
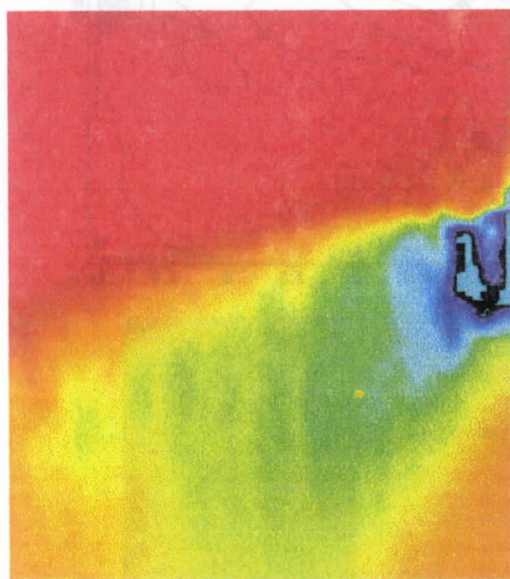


附図 5-1 CASE4-A の給気口からの冷氣侵入状況



# CASE4-C

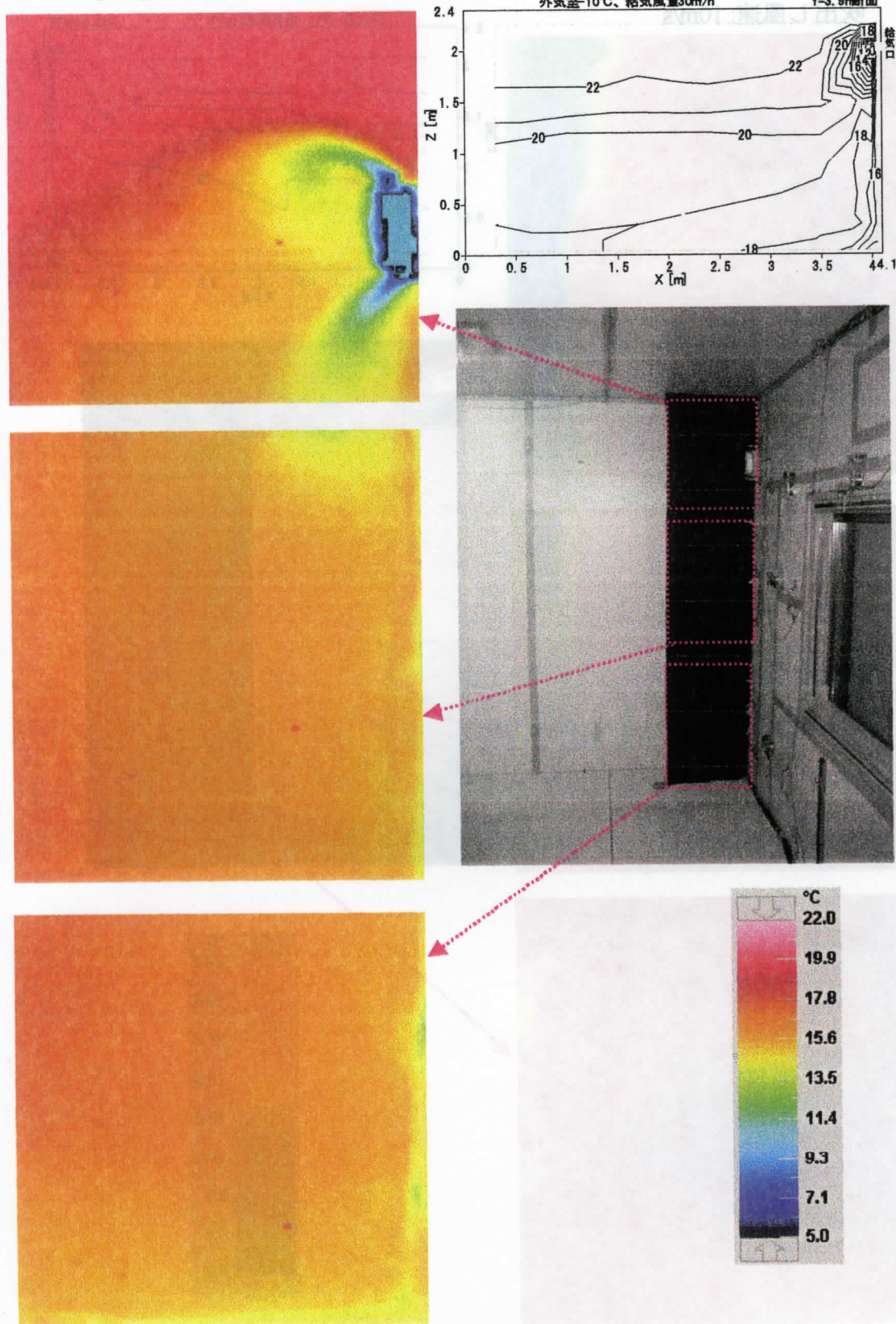
吹出し風速: 1.41m/s



附図 5-2 CASE4-C の給気口からの冷氣侵入状況



## CASE4-E

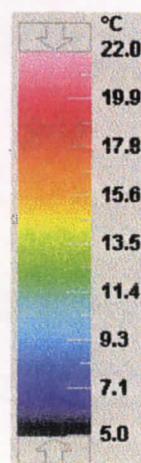
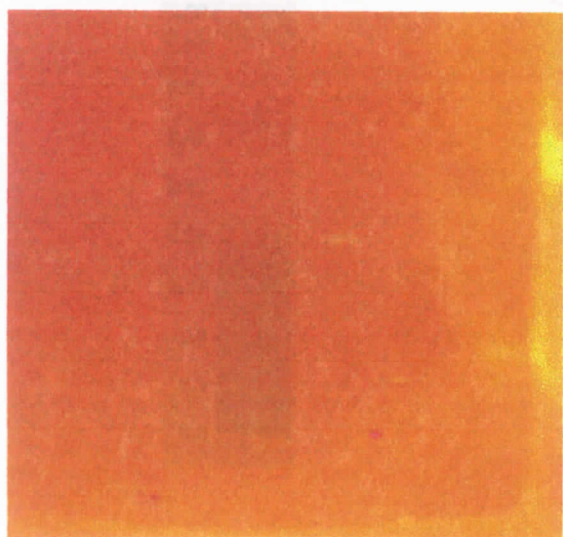
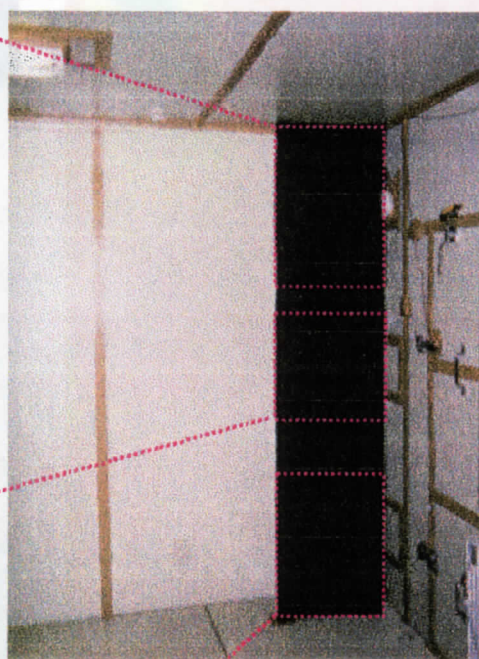
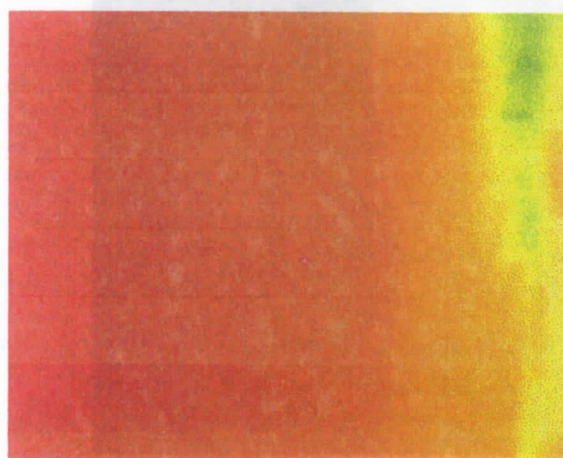
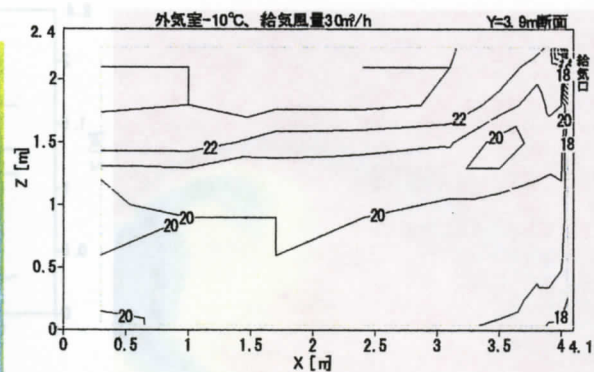
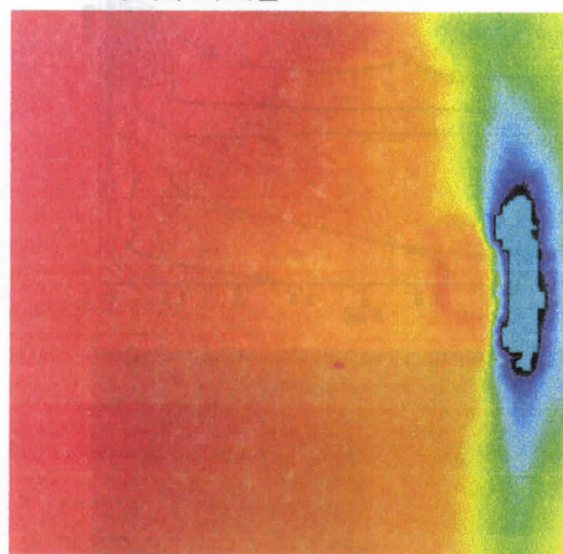


附図 5-3 CASE4-E の給気口からの冷氣侵入状況



# CASE4-F

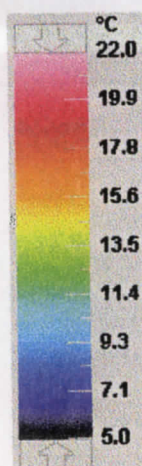
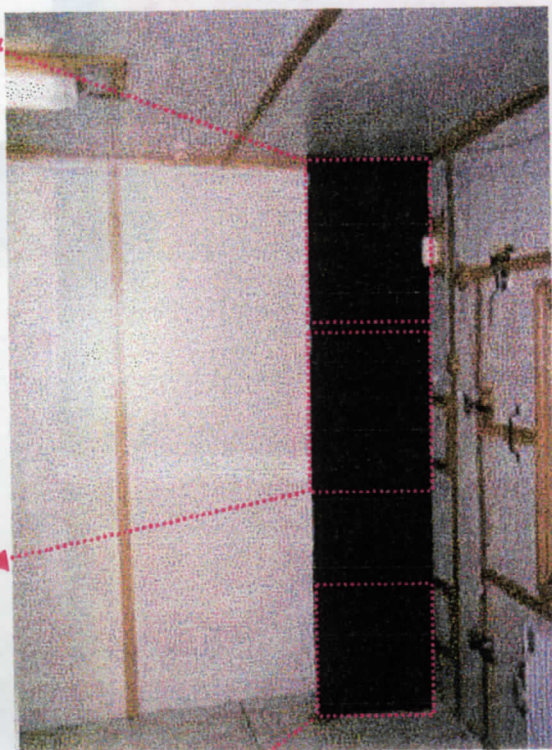
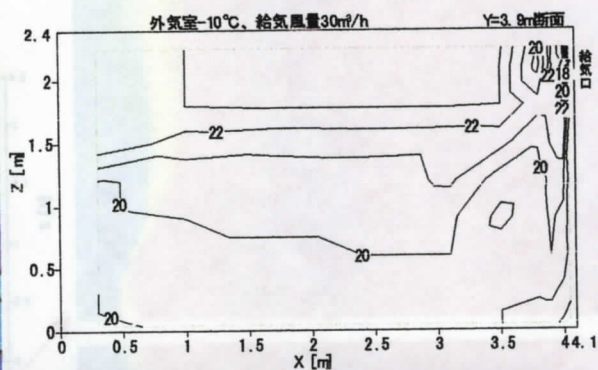
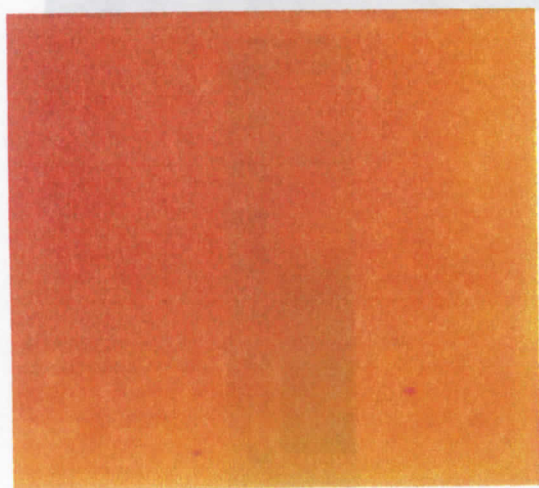
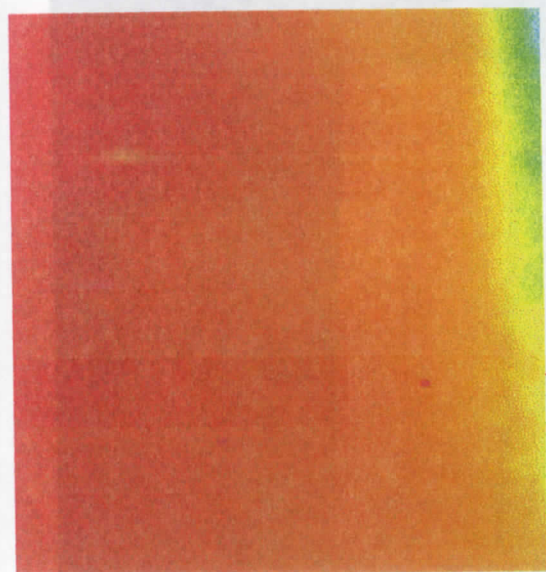
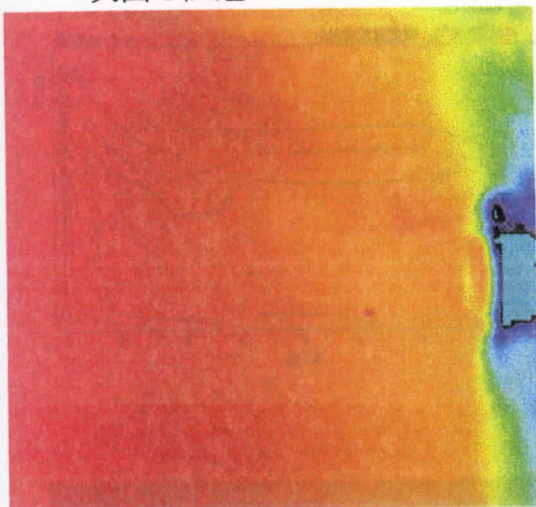
吹出し風速: 10m/s



附図 5-4 CASE4-F の給気口からの冷氣侵入状況

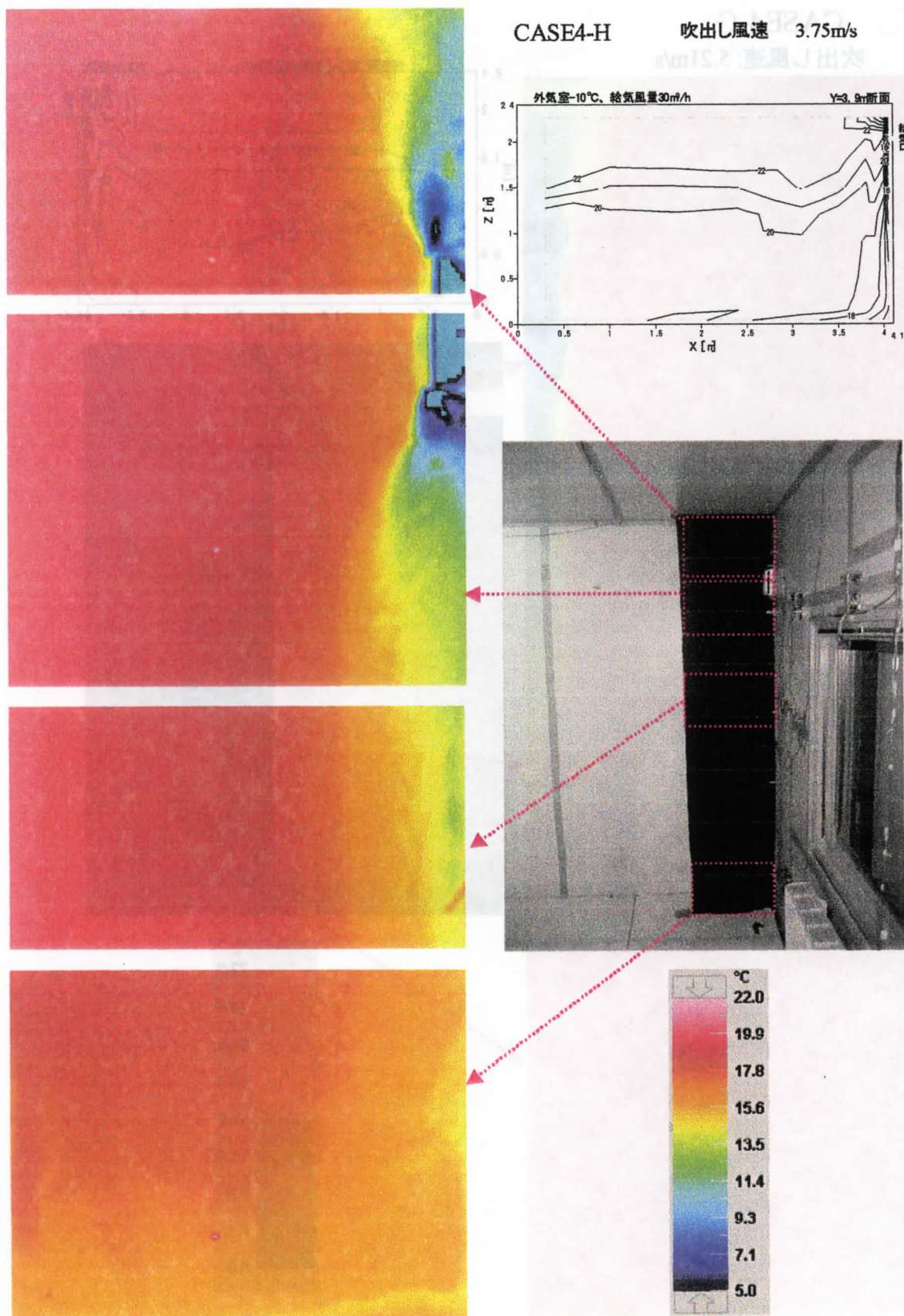


# CASE4-G 吹出し風速: 5.21m/s



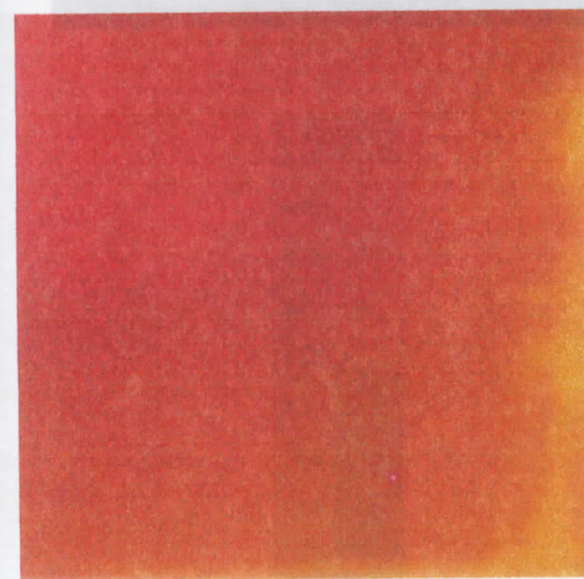
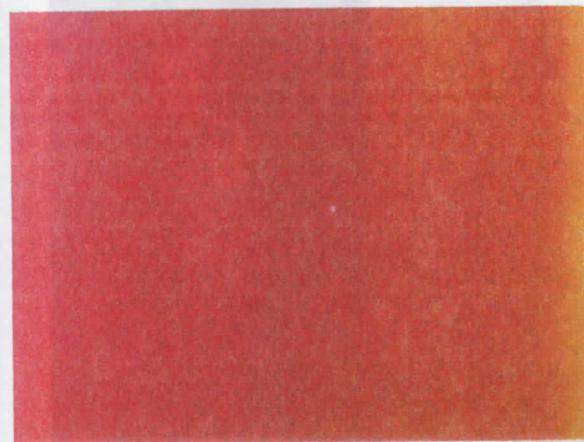
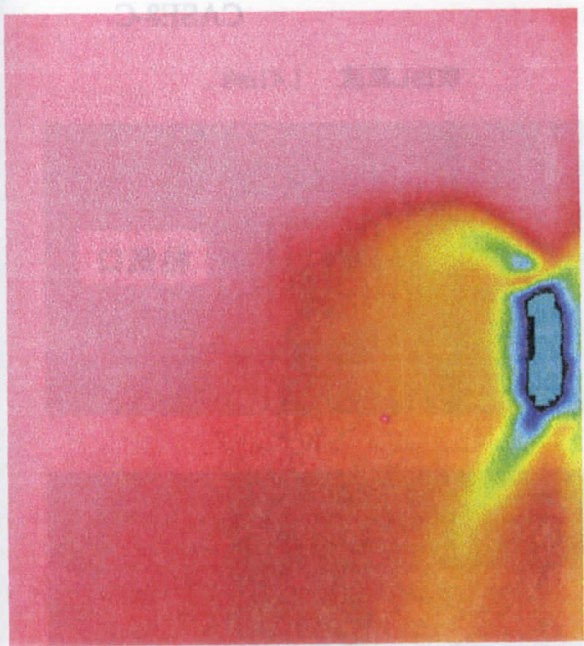
附図 5-5 CASE4-G の給気口からの冷氣侵入状況



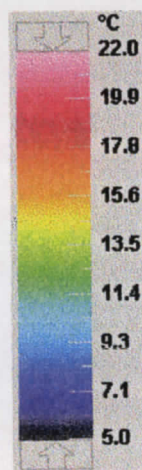
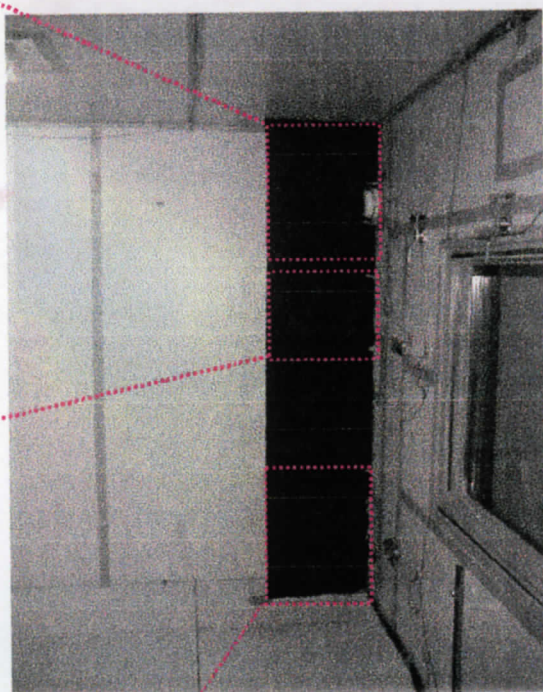
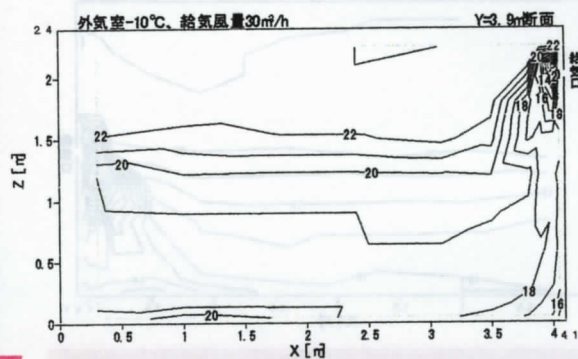


附図 5-6 CASE4-H の給気口からの冷氣侵入状況



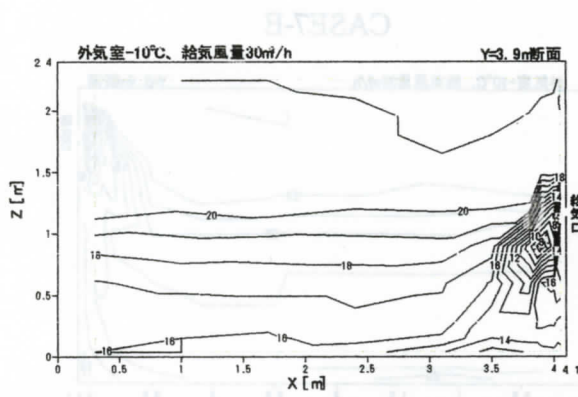


# CASE7-E



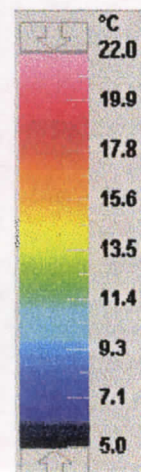
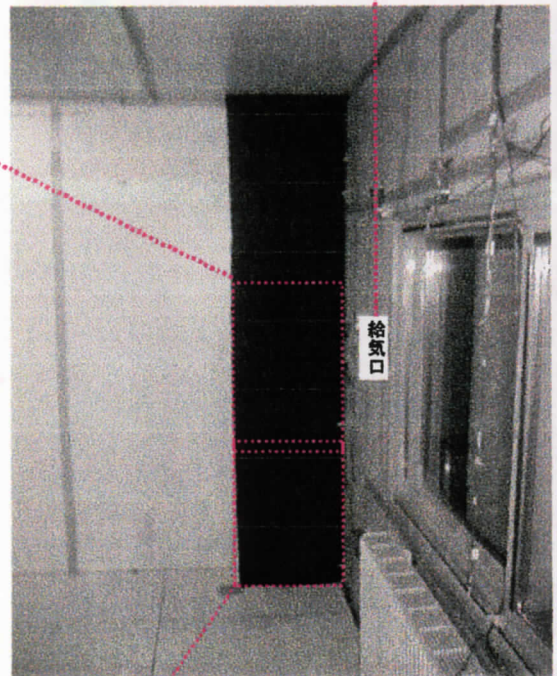
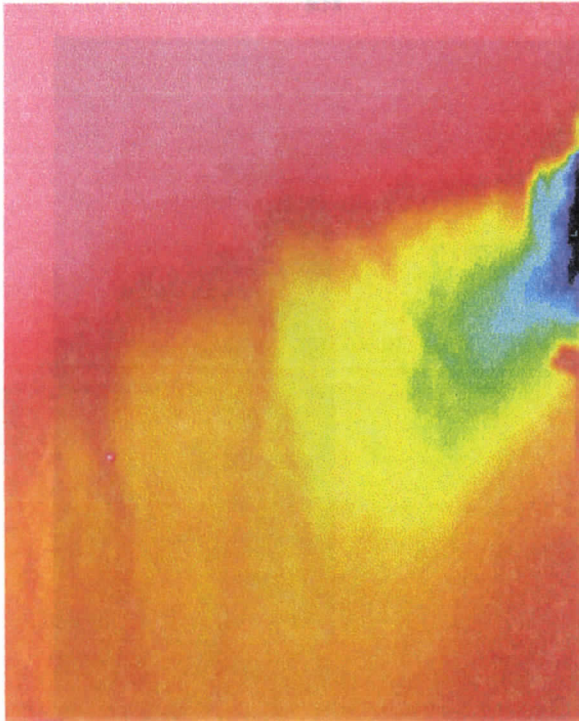
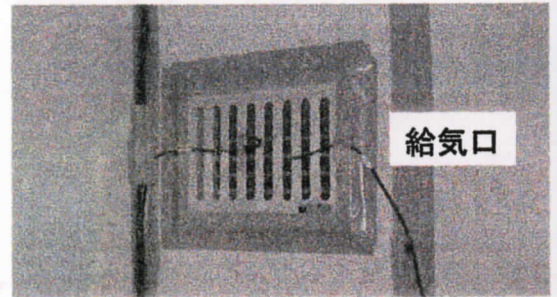
附図 5-7 CASE7-E の給気口からの冷氣侵入状況





CASE8-C

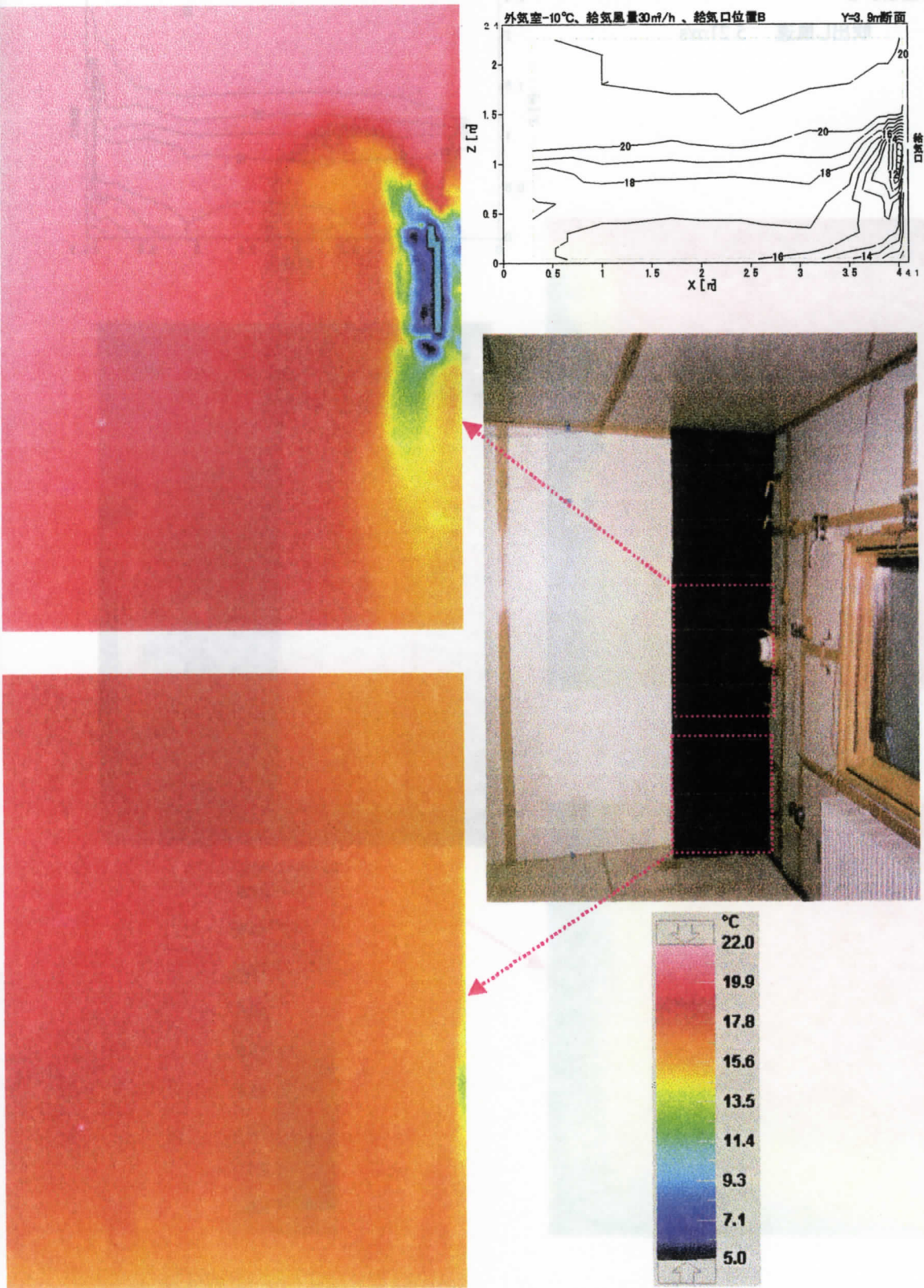
吹出し風速 1.41m/s



附図 5-8 CASE8-C の給気口からの冷気侵入状況



CASE8-E      吹出し風速   5.95m/s

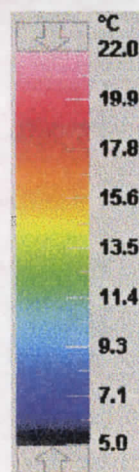
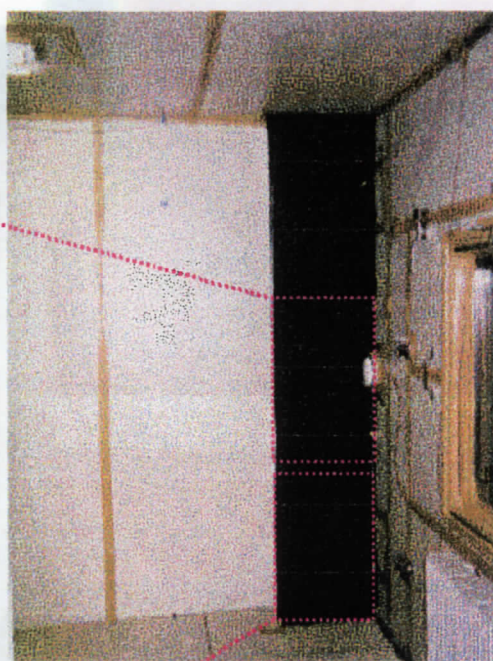
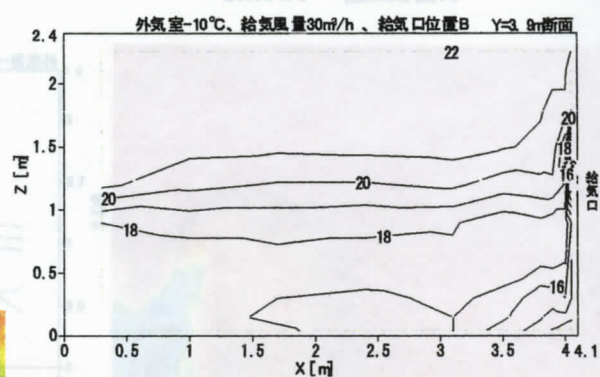
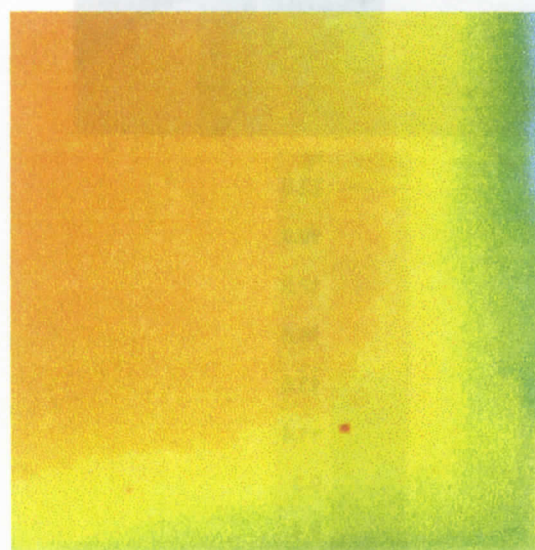
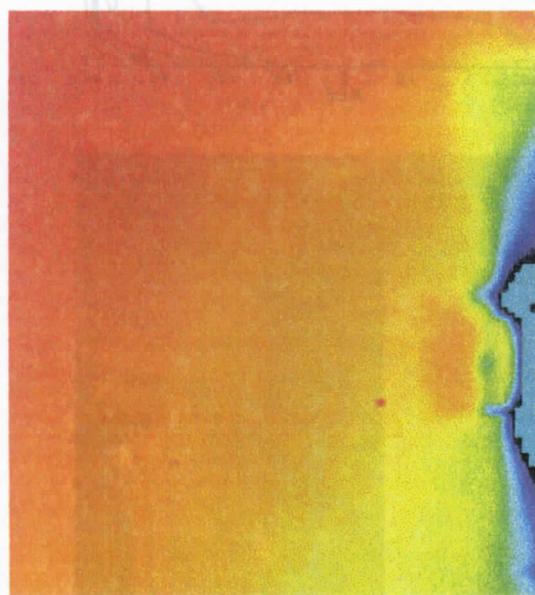


附図 5-9 CASE8-E の給気口からの冷氣侵入状況



# CASE8-G

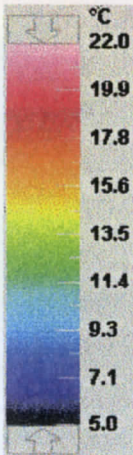
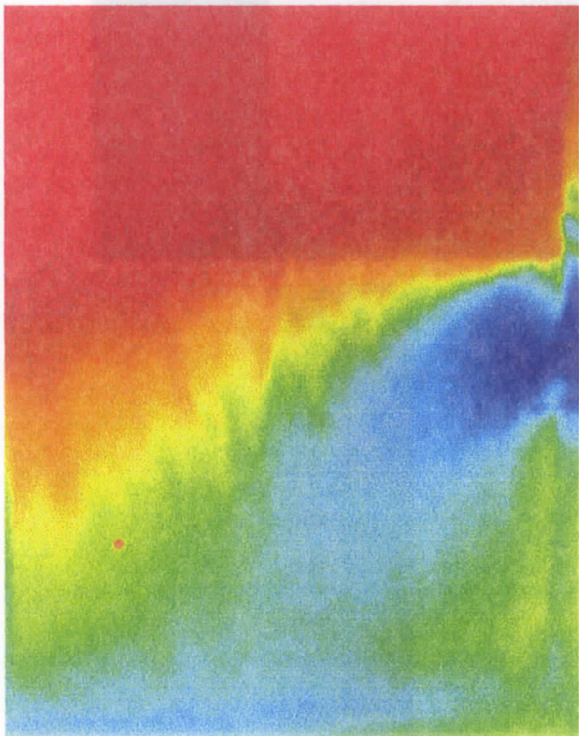
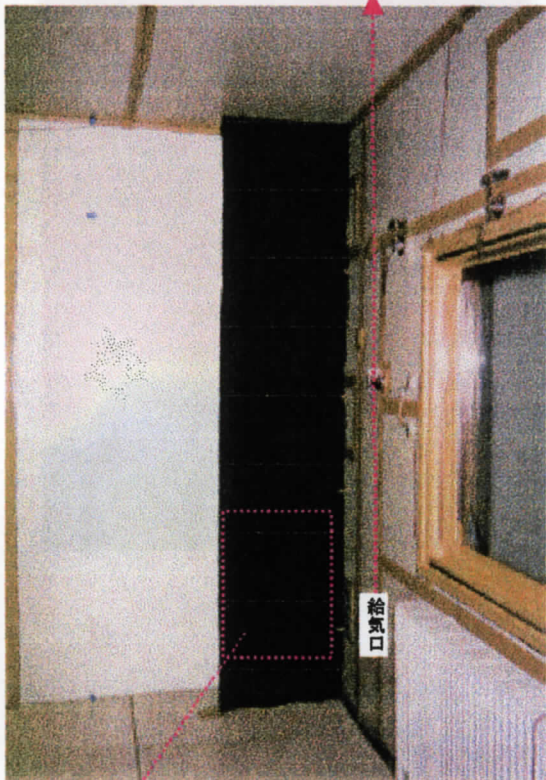
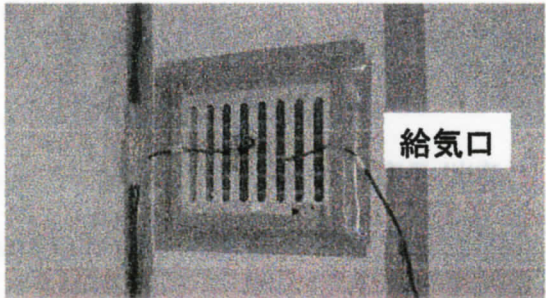
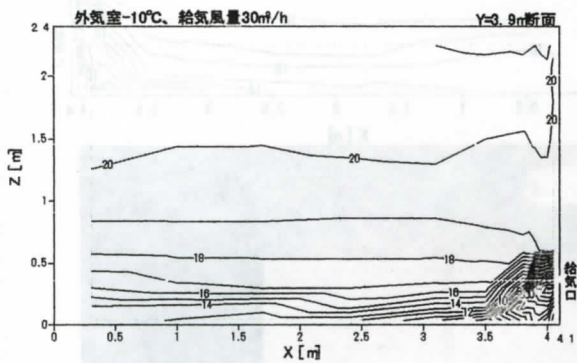
吹出し風速 5.21m/s



附図 5-10 CASE8-G の給気口からの冷氣侵入状況

CASE9-C

吹出し風速 1.41m/s

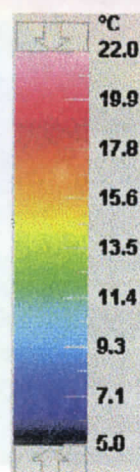
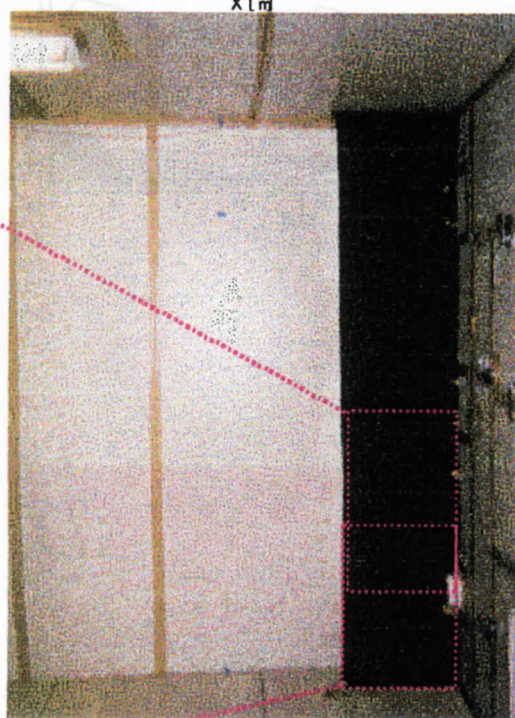
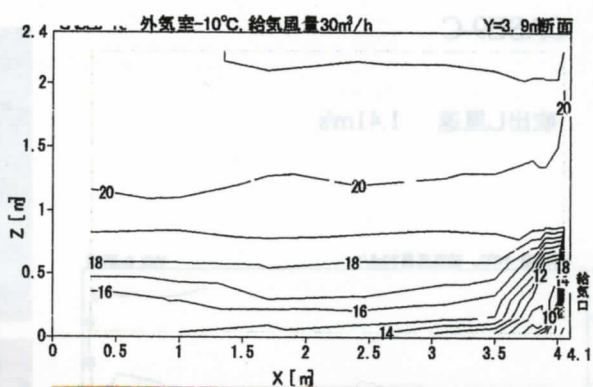
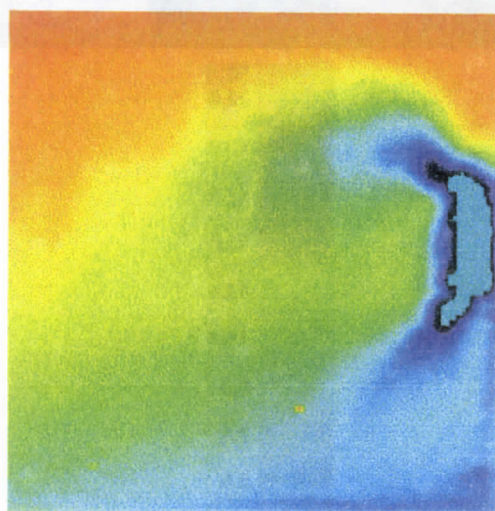
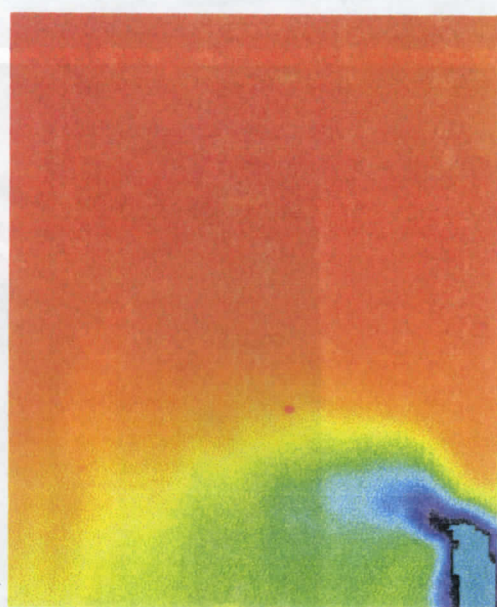


附図 5-11 CASE9-C の給気口からの冷氣侵入状況



CASE9-E

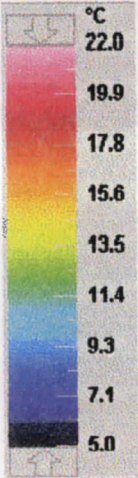
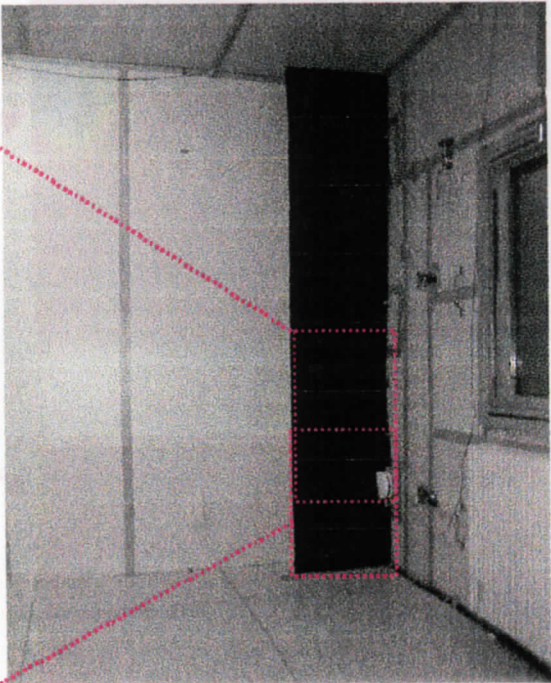
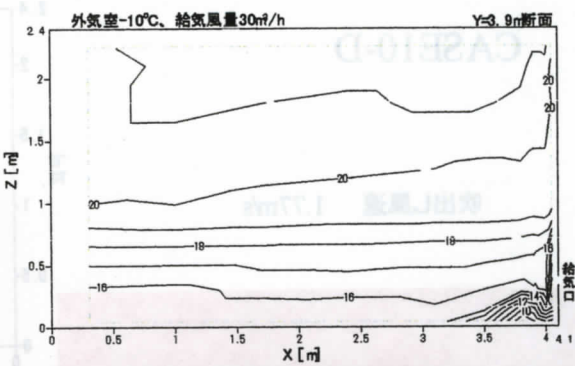
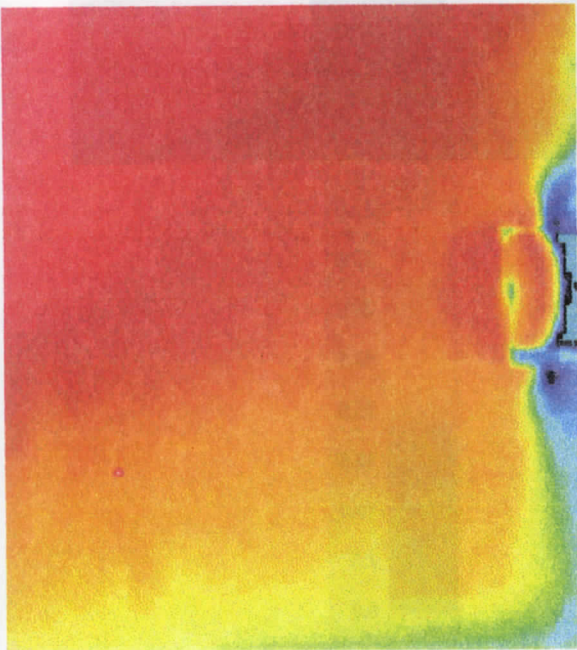
吹出し風速 5.95m/s



附図 5-12 CASE9-E の給気口からの冷氣侵入状況

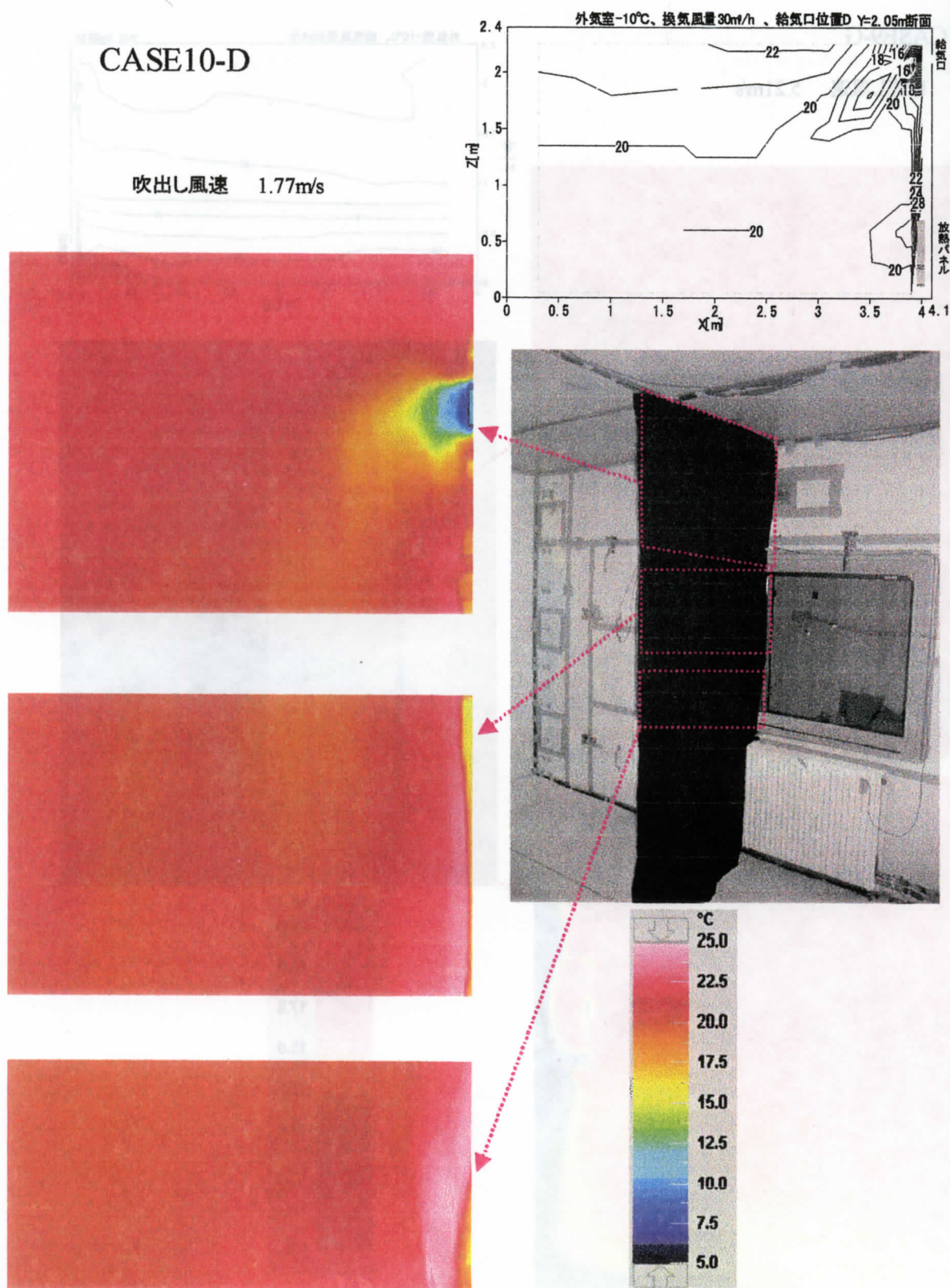
CASE9-G

吹出し風速 5.21m/s



附図 5-13 CASE9-G の給気口からの冷氣侵入状況





附図 5-14 CASE10-D の給気口からの冷気侵入状

第6章 外壁給気口の室内温度・気流分布並びに換気効率に及ぼす影響に関する  
CFD による検討

人工気候室内の実大居室実験で、室内外温度差、給気風量、給気口の設置位置、吹出し方向、暖房設置位置などの因子が室内温度分布への影響について検討を行った。その結果から、給気口の吹出し方向が強い影響を及ぼすことが判明した。

本章では  $k-\varepsilon$  モデルを用いて CFD 計算により、給気の吹出し方向の室内温度・気流分布へ影響を詳細に検討する。さらに換気効率指標 SVE4 を用いて、室内空気分配に及ぼす影響について検討する。

6.1 CFD 解析の概要

6.1.1 基礎方程式

Viollet 型の非等温  $k-\varepsilon$  モデル<sup>2), 3)</sup>の基礎方程式を表 6-1 に示す。

6.1.2 解析対象空間

解析は図 6-1 に示す実大居室を対象にモデル化した。

給気口の設置位置は実験で検討した I, II, III, IV の 4 か所に設置可能であるが、計算では位置 I にする。

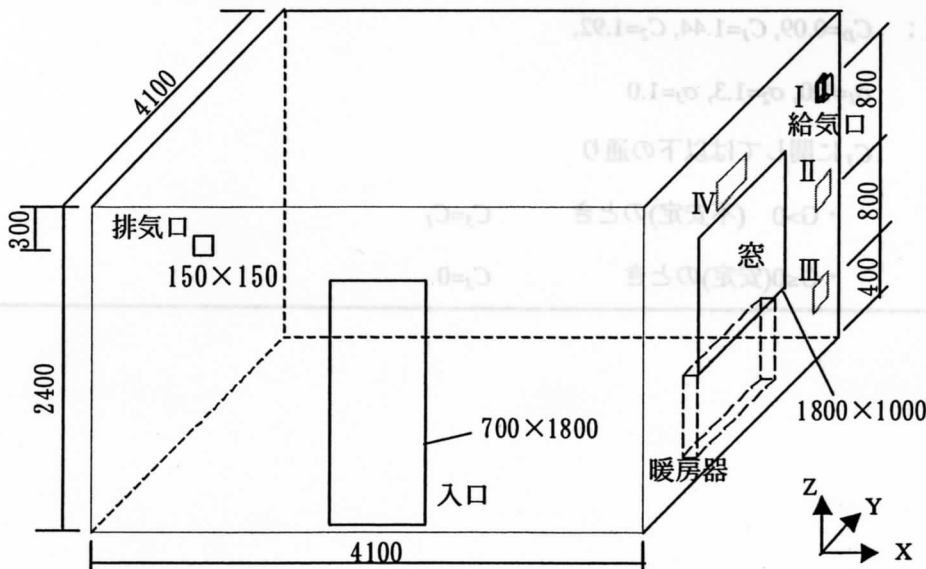


図 6-1 解析対象モデルの略図

表 6-1 基礎方程式

$$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_i} = 0 \quad (6.1.1)$$

$$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_i} (\langle p \rangle + k) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ v_i \left( \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right) \right] - g_3 \beta \langle \theta \rangle \delta_{i3} \quad (6.1.2)$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \langle u_i \rangle \frac{\partial k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \frac{v_i}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + P_k + G_k - \varepsilon \quad (6.1.3)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \langle u_i \rangle \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \frac{v_i}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + \frac{\varepsilon}{k} (C_1 P_k + C_3 G_k) - C_2 \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (6.1.4)$$

$$P_k = v_i \left[ \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right] \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} = v_i S^2 \quad S = \sqrt{\frac{1}{2} \left( \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right)^2} \quad (6.1.5)$$

$$G_k = -g_3 \beta \frac{v_i}{\sigma_\theta} \frac{\partial \langle \theta \rangle}{\partial x_i} \delta_{i3} \quad (6.1.6)$$

$$\frac{\partial \langle \theta \rangle}{\partial t} + \langle u_i \rangle \frac{\partial \langle \theta \rangle}{\partial x_i} = - \frac{\partial}{\partial x_i} \{ - \langle u_i' \theta' \rangle \} \quad (6.1.7)$$

数値定数：  $C_D=0.09, C_I=1.44, C_2=1.92,$

$\sigma_1=1.0, \sigma_2=1.3, \sigma_3=1.0$

$C_3$  に関しては以下の通り

- ・  $G > 0$  (不安定) のとき  $C_3 = C_I$
- ・  $G \leq 0$  (安定) のとき  $C_3 = 0$

6.1.3 給気口のモデル化

図 6-2 に示すように、給気口の形状は角型とする。吹出しは、面から或いは上下左右 4 方向にする、寸法は 150mm である。

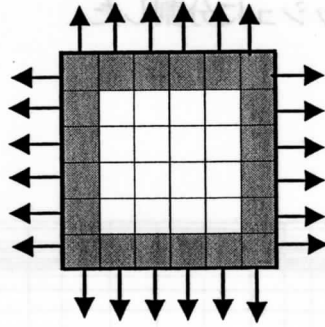


図 6-2 給気口の形状(上下左右 4 方向)

6.1.4 計算ケース

計算ケースを表-1 に示す。実験結果と照合するため、CASE1 を設けた。

CASE 2, 3, 4 には吹出し方向を変化させた。CASE 2 は壁と 15 度に上下左右吹き出す。CASE 3, 4 はそれぞれ水平、壁と 45 度上向きに吹出す。その他の条件は以下の通りである。

外 気 温   :   -10℃                      給気風量   :   30m³/h  
給気口位置   :   位置 I                      暖房位置   :   窓下

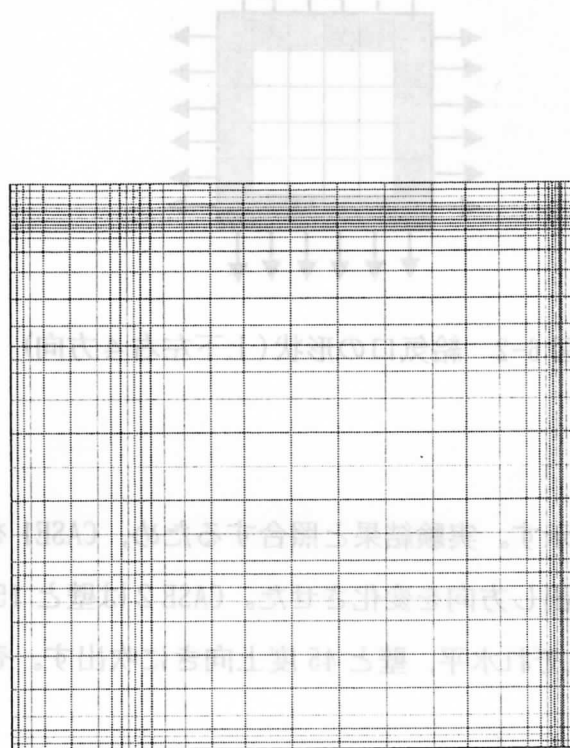
表 6-2 計算ケース

CASE	吹出し方向	備考
1	壁面と平行に上下左右	実験と照合
2	壁面と30度に上下左右	
3	水平	
4	壁面と45° 上向き	

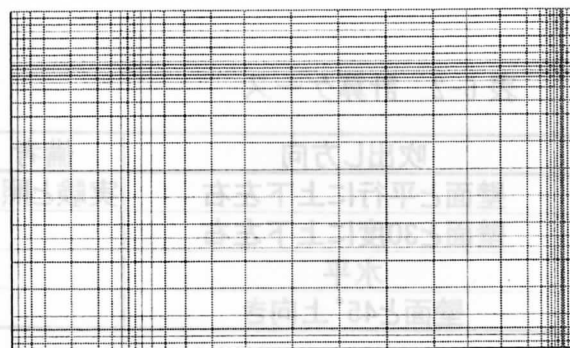
### 6.1.5 メッシュ分割

CASE1 の場合、給排気口、窓、放熱パネルなどの分割を考慮し、図 6-3 のように解析空間を  $33(x) \times 36(y) \times 29(z)$  の計 34452 メッシュに分割した。

CASE2 は  $31(x) \times 33(y) \times 28(z)$  の計 28644 メッシュ、CASE3,4 は  $29(x) \times 28(y) \times 25(z)$  の計 20300 メッシュに分割した。



XY断面



XZ断面

図 6-3 CASE1 のメッシュ分割



6.1.6 境界条件

境界条件を表 6-3 にまとめて示す。

表 6-3 境界条件

		記号
吹出口	<p><math>\langle u_{in} \rangle</math>: 給気風量から算出される</p> <p><math>k_{in} = \frac{3}{2} (0.05 \langle u_{in} \rangle)^2</math> (乱れの強さ 5% とし、乱れの等方性を仮定)</p> <p><math>\varepsilon_{in} = \frac{C_{\mu} k_{in}^{\frac{3}{2}}}{l_{in}}</math> <math>l_{in}</math> は吹出口の短辺、(0.15m)</p> <p><math>\langle \theta_{in} \rangle = -10^{\circ}\text{C}</math></p>	<p><math>u_i</math>: 風速3成分</p> <p><math>\langle \cdot \rangle</math>: 変数fの時間平均</p> <p>f: 時間平均値からのずれ (<math>f = f - \langle f \rangle</math>)</p> <p><math>\theta</math>: 温度 [<math>^{\circ}\text{C}</math>]</p> <p>k: 乱流エネルギー (<math>1/2 \langle u_i' u_i' \rangle</math>)</p> <p><math>\varepsilon</math>: kの散逸</p> <p><math>u_{in}</math>: 吹出口の風速</p> <p><math>u_{out}</math>: 吸込口の風速</p> <p><math>\theta_{in}</math>: 吹出口の温度</p> <p><math>k_{in}</math>: 吹出口のk</p> <p><math>\varepsilon_{in}</math>: 吹出口の <math>\varepsilon</math></p> <p><math>\theta_w</math>: 表面温度</p> <p><math>h_p</math>: 壁面第一セルの幅</p> <p><math>(u_p)</math>: 壁面第一セル の接線方向風速</p> <p><math>\theta_p</math>: 壁面第一セルの <math>\theta</math></p> <p><math>k_p</math>: 壁面第一セルのk</p> <p><math>\varepsilon_p</math>: 壁面第一セルの <math>\varepsilon</math></p> <p><math>\tau_w</math>: 壁面のシアーストレス</p> <p>表3中の定数は、 <math>\kappa=0.4</math> <math>C_{\mu}=0.09</math> <math>E=9.0</math></p>
吸込口	<p><math>\langle u_{out} \rangle</math>: 多数室換気計算プログラム COMIS の結果(表 1)から算出される風量値を与える。</p> <p><math>k, \varepsilon, \langle \theta \rangle</math> 等のスカラー量は法線方向の勾配 0</p>	
隙間	隙間がないと仮定する。	
天井面・床面 及び壁面	<p>・壁面上のシアーストレスは①式、k 方程式中の壁面第 1 セルの <math>\varepsilon</math> (<math>\varepsilon_p</math>) は②式、<math>\varepsilon</math> 方程式中の壁面第 1 セルの <math>\varepsilon</math> (<math>\varepsilon_p</math>) は③式で与えた。</p> <p><math>\frac{\langle u_i \rangle p}{\tau_w / \rho} (C_{\mu}^{\frac{1}{2}} k_p)^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{\kappa} \ln \left[ \frac{E \frac{1}{2} h_p (C_{\mu}^{\frac{1}{2}} k_p)^{\frac{1}{2}}}{\nu} \right]</math> .....①</p> <p><math>\frac{\varepsilon}{\varepsilon_p} = \frac{C_{\mu}^{\frac{3}{2}} k_p}{\kappa h_p} \ln \left[ \frac{E \frac{1}{2} h_p (C_{\mu}^{\frac{1}{2}} k_p)^{\frac{1}{2}}}{\nu} \right]</math> .....②</p> <p><math>\varepsilon_p = \frac{C_{\mu}^{\frac{3}{2}} k_p^{\frac{3}{2}}}{\frac{1}{2} \kappa h_p}</math> .....③</p> <p>k: 法線方向の勾配 0</p> <p>・熱量に関する境界条件は以下のように与えた。</p> <p>1) 天井面、床面</p> <p><math>q_{cin} = \alpha_c (\theta_w - \theta_p)</math></p> <p>但し、<math>\theta_w</math>: 表面温度 (実験値を用いる)</p> <p><math>\alpha_c</math>: 対流熱伝達率 {天井: <math>1\text{w/m}^2\text{K}</math> (熱流下向き) 床面: <math>4\text{w/m}^2\text{K}</math> (熱流上向き)}</p> <p>2) 放熱パネル表面</p> <p>対流熱伝達率 <math>4\text{w/m}^2\text{K}</math>、表面温度は実験値を用いる。</p>	

6.2 実験結果との比較

CASE1 の計算条件、給気口などは実験の条件と一致するように工夫した。給気口を含めた鉛直断面の温度分布の計算結果を図 6-4 (b) に示した。図 6-4 (a) の実験結果と比べると、給気口からの冷気流の広がり状況や、床から天井までの室内空気温度の成層などが良く一致した。天井付近の空気温度がやや低いが、これは暖房の放熱量が若干少ないと推察され、数値計算としては妥当である。

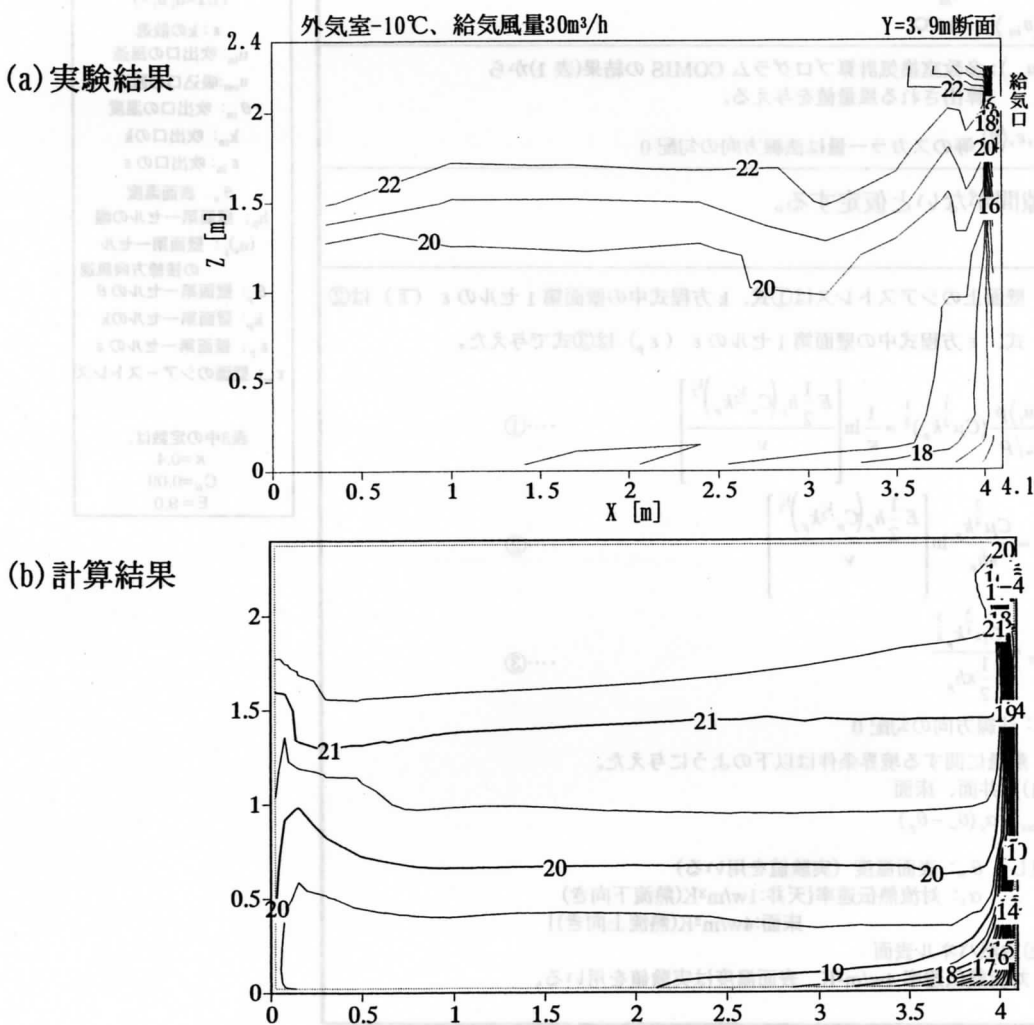


図 6-4 CASE1 の計算結果と実験結果の比較

### 6.3 給気口の吹き出し方向による室内温度・気流分布への影響の検討

各ケースの室内温度・気流分布の計算結果を図 6-5～図 6-11 に示す。

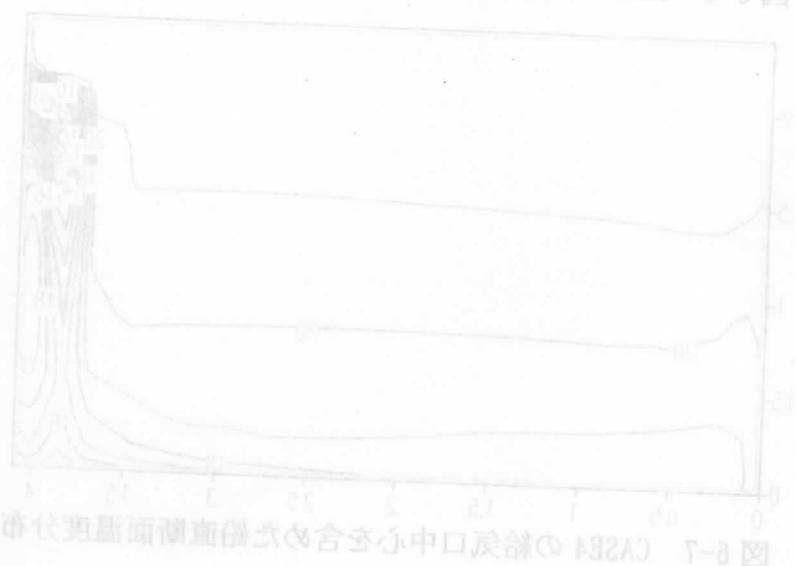
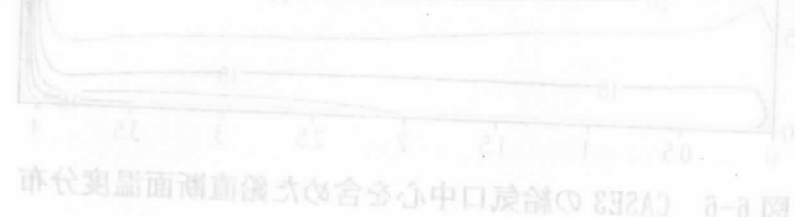
#### (1) 温度分布

壁と平行に吹き出す CASE1 と、壁と 15 度の角度で上下左右に吹き出す CASE2 は、水平吹き出す CASE3 と、45 度上向き吹き出す CASE4 と比べて、後者の場合、床付近の空気温度が約 1℃低い。

CASE1 の場合、吹き出した冷気流が壁に附着し、壁の表面温度がかなり低くなることが推察できる。CASE2 の吹き出し方向は壁と 15 度であるため、冷気流の附着は見られない。水平吹き出す給気口 CASE4 の場合、冷気流が室内に向け吹いているが、すぐに下降流になる。CASE3 の場合、冷気流が壁と 45 度で上向きに吹き出しているが、風速が弱いため、浮力に負けて壁に沿って降下している。

#### (2) 風速分布

全体的には各ケースにおいて、冷気流は給気口から侵入し、床までに落ち、床の上に図の右側から左側に流動している。CASE3 の場合最も強い。又、CASE1, 2 の場合、天井面に沿った右側から左側へ流れが見られ、CASE3, 4 の方が見られない。



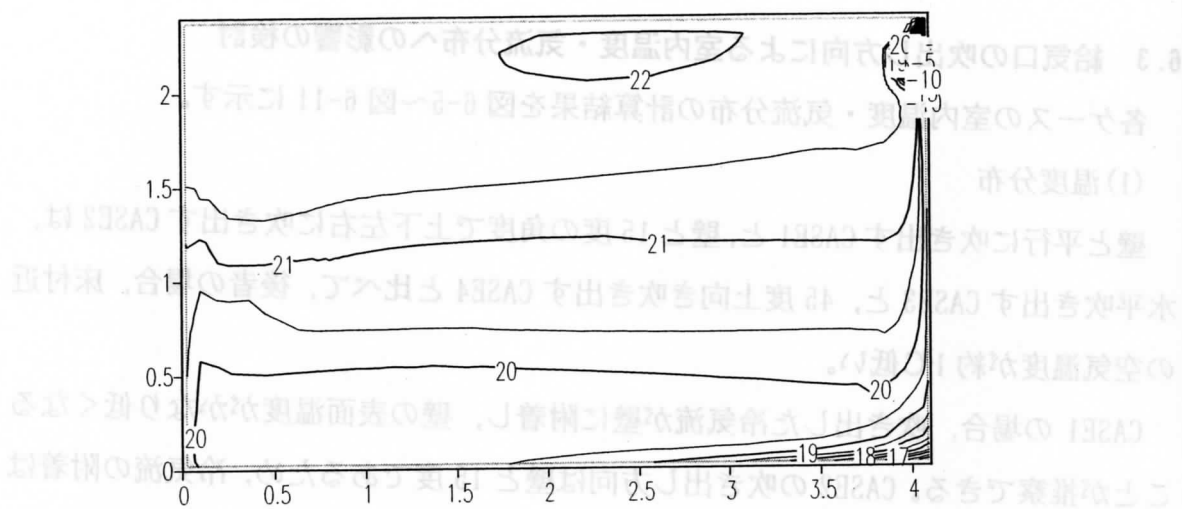


図 6-5 CASE2 の給気口中心を含めた鉛直断面温度分布

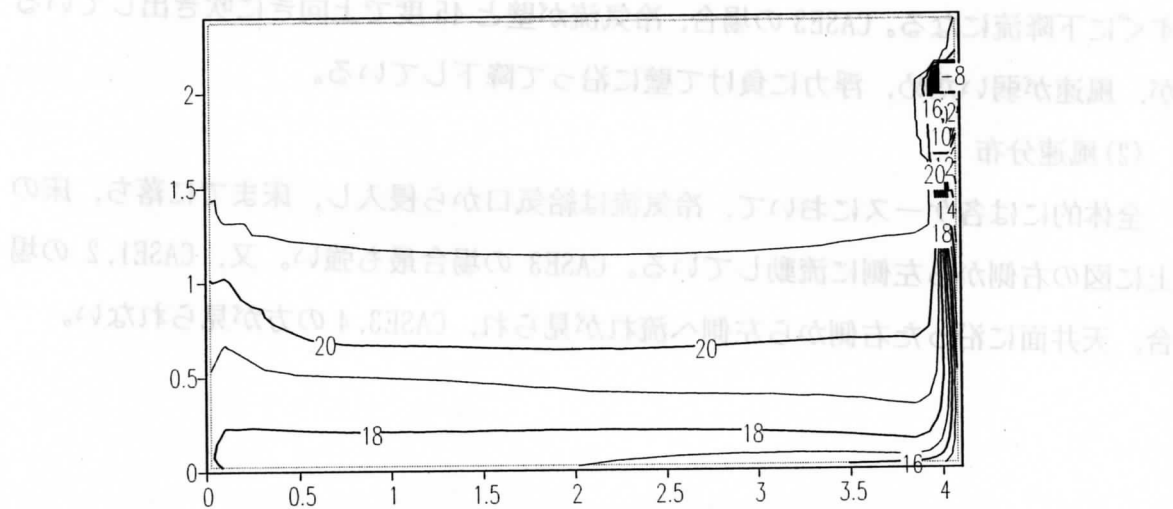


図 6-6 CASE3 の給気口中心を含めた鉛直断面温度分布

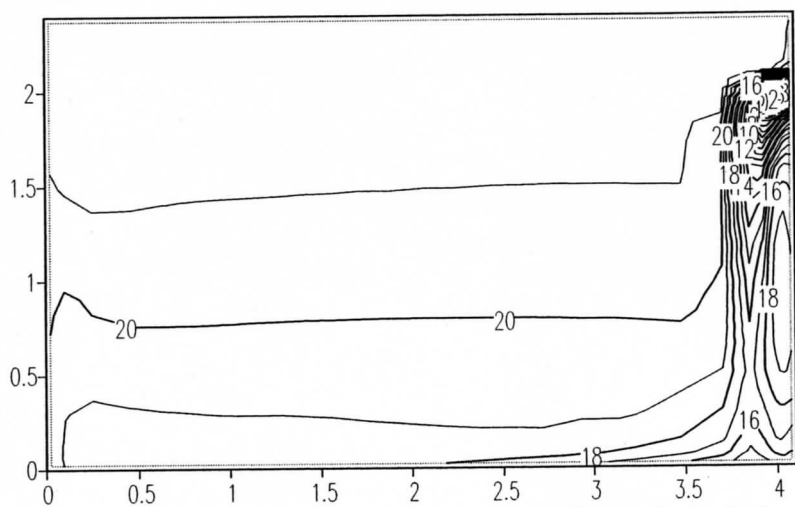


図 6-7 CASE4 の給気口中心を含めた鉛直断面温度分布



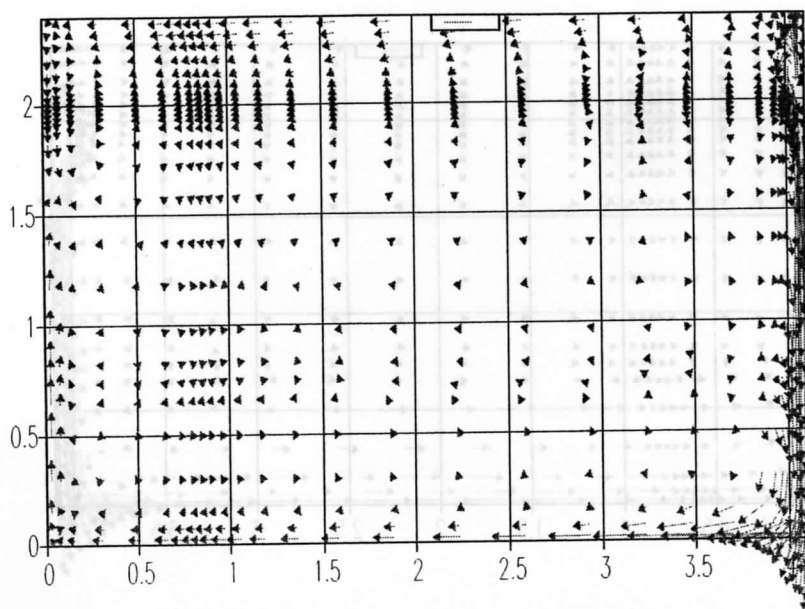


図 6-8 CASE1 の給気口中心を含めた鉛直断面の気流分布

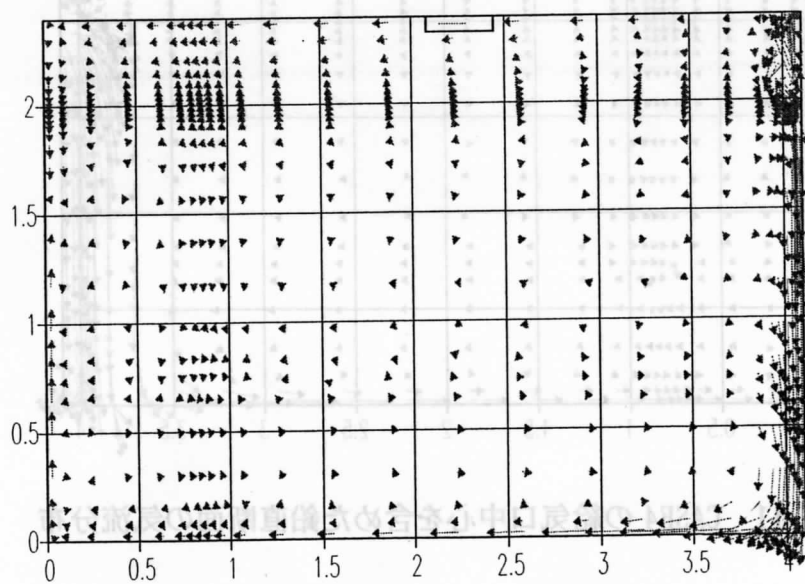


図 6-9 CASE2 の給気口中心を含めた鉛直断面の気流分布

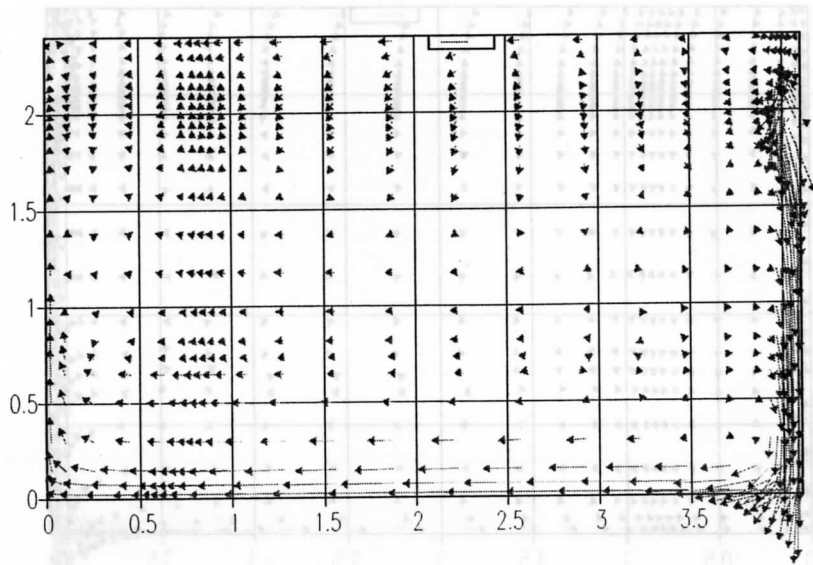


図 6-10 CASE3 の給気口中心を含めた鉛直断面の気流分布

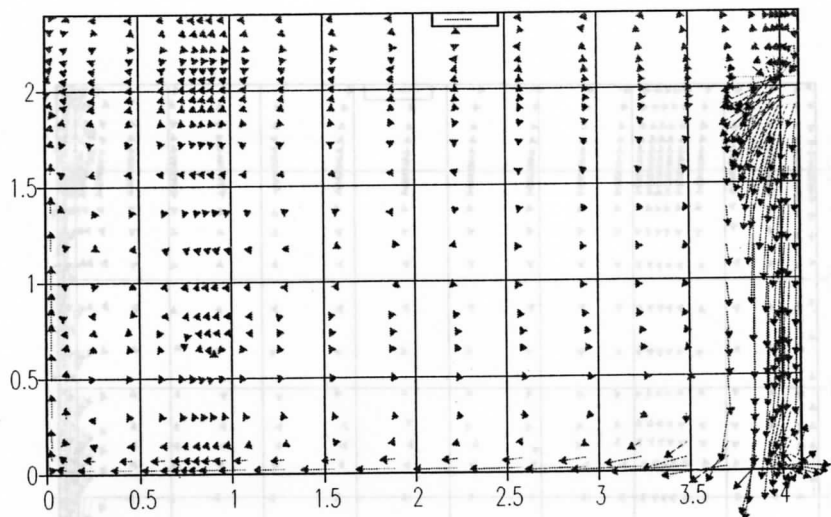


図 6-11 CASE4 の給気口中心を含めた鉛直断面の気流分布

6.4 換気効率指標を用いて室内換気性状の検討

換気効率指標 SVE4 を用いて、給気口から濃度 1 のトレーサガスを発生させ、室内の濃度分布を計算し、室内換気性状を検討する。

CASE1 の実時間 81 分の時の濃度分布を図 6-12 に、CASE4 の実時間 90 分の時の濃度分布を図 6-13 に示す。給気口の違いが室内換気性状への影響は明かである。CASE1 の場合、上下半々に濃度分布し、下の方の空気が新鮮である。CASE4 の場合、給気口からの冷氣降下する経路と床上薄い層以外に、濃度が一様に分布している。新鮮空気があまり拡散せずに排出されている。

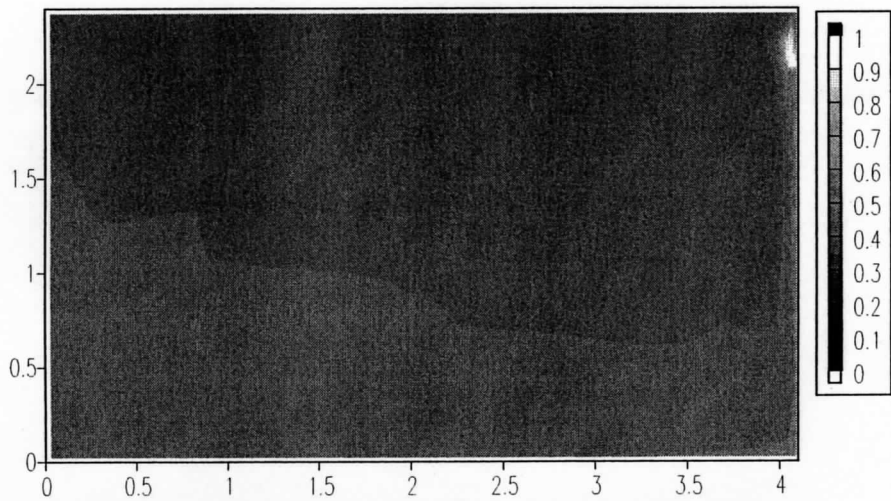


図 6-12 CASE1 の実時間 81 分の時の濃度分布

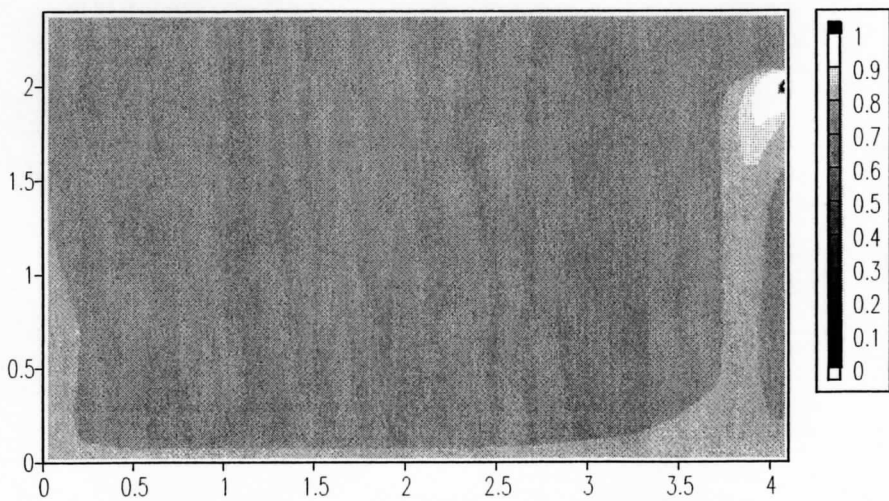


図 6-13 CASE1 の実時間 90 分の時の濃度分布

6.5 まとめ

本章では、実験データを用いて、 $k-\epsilon$ モデルに基づく数値計算の妥当性を確認し、給気口の吹き出す方向が室内温度・気流分布並びに換気性状への影響について検討した。壁と平行に吹き出す給気口の場合、冷気流が壁に附着するため、結露などの恐れが生ずる。又水平に吹き出す給気口は、新鮮空気が床に張ってから、排出されるため、温熱的不快以外に換気効率にも負の影響がする。

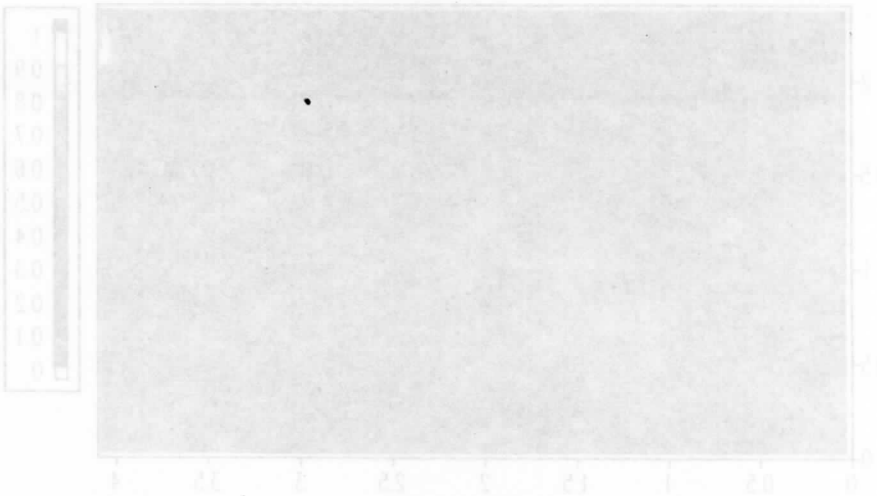


図 6-12 CASE1 の時刻 18 分の温度の分布

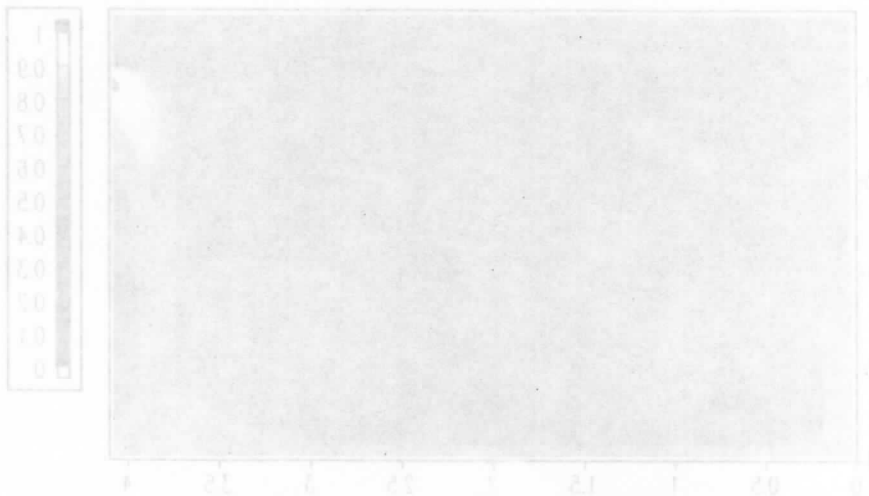


図 6-13 CASE1 の時刻 90 分の温度の分布



## 第6章 参考文献

- 1) 村上周三：CFD による建築・都市の環境設計工学，東京大学出版社，2000.9
- 2) P.Viollet: “The Modeling Turbulent Recirculating Flows for The Purpose of Reactor Thermal-Hydraulic Analysis” , Nuclear Engineering and Design, Vol. 99, pp365-377, 1987
- 3) 持田, 村上, 山村: 建物周辺における浮力のあるガスの拡散の数値予測(第1報)- $\epsilon$  方程式における浮力による生産項のモデル化の検討を中心として-, 日本建築学会学術講演梗概集, 1987.10

## 第7章 まとめ

詳細なまとめは各章に譲り，本章では全体のまとめを行う。

第2,3章ではアンケート，実在住宅の調査により，外壁給気口からの冷氣侵入についての問題点，どんな関連要因があるかなどを明らかにした。第4章では現在住宅に使われている給気口機器の調査分析した。第5章では人工気候室内の実大居室を用いて，各種関連要因が室内の温熱不快感の形成がどんな影響するかについて検討した。給気口の吹き出し方向が重要な影響要因の一つであることが判り，第6章で，CFDによる検討を行った。

以上のように，本研究は温熱的不快感を生じないための設計資料の整備に必要なデータを蓄積してきた。今後，さらに詳細の計算を行い，快適な給気口方法，方式を提案する。

## 謝辞

本研究の実施にあたっては、株式会社森永エンジニアリング・阪場行男氏(機器営業部次長)、同・仙台営業所・武舎 憲功氏(仙台営業所所長)、同・仙台営業所・岩井信行氏(仙台営業所主任)、澤田商事株式会社・亀井良氏(営業開発部課長)に多大なるご協力を頂きました。ここに深く謝意を表します。

また実験・実測に際して協力頂いた、東北大学大学院院生諸君にも深く感謝します。